

Sami Nivalainen

BGA-PIIRIN UUDELLEEN PALLOTUKSEN TUTKIMINEN

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Elektroniikan tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Kevät 2003
Ohjaaja: Pekka Juntunen

Osasto Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Elektroniikka
Tekijä(t) Sami Nivalainen	
Työn nimi BGA-piirin uudelleen pallotuksen tutkiminen	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Tuotantotekniikka	Ohjaaja(t) Raimo Heikkinen (Incap Oyj) Pekka Juntunen (Kajaanin AMK)
Aika 30.3.2003	Sivumäärä 48+10
<p>Nykyään käytetään yleisesti komponentteja joiden kontaktit on sijoitettu komponenttien pohjaan. BGA-piiri (Ball Grid Array) on juuri tällainen piiri, jonka kontakteina ovat piirin pohjassa sijaitsevat juotenystyt. Tämä liitosmenetelmä aiheuttaa kuitenkin ongelmia kontaktien tarkastamisen suhteen. Röntgen on ainoa menetelmä, jolla näitä kontakteja kyetään tarkastelemaan. Juotosprosessissa voi käydä niin, että piirin kontaktien välille syntyy oikosulkuja tai kaikki kontaktit eivät ole täydellisiä. Tällöin piiri joudutaan ottamaan pois piirilevyltä. Tämä tehdään erillisellä BGA-piirin korjausasemalla, jolla voidaan myös asettaa uusi piiri irrotetun tilalle. Tällaiset BGA-piirit voivat maksaa satoja euroja, joten irrotettujen piirien korjaaminen on perusteltua.</p> <p>Työn tarkoituksena olikin irrotettujen piirien korjaamisen tutkiminen ja uusien juotenystysten luominen piirien pohjaan. Uudet kontaktit luotiin minitensiilien ja BGA-korjaus- aseman avulla. Työ tehtiin yhteistyössä Kajaanin ammattikorkeakoulun ja Incap Oyj:n kanssa, ja tutkimuksissa käytettiin harjoituskomponentteja sekä Incap Oyj:n käyttämiä BGA-piirejä.</p> <p>Harjoituskomponenttien osalta tutkimuksissa päästiin suhteellisen hyviin tuloksiin, ja juotenystyistä saatiin riittävän hyvälaatuisia. Incap Oyj:n piirin osalta tulokset jäivät hieman heikommiksi. Uusien juotenystysten muodostaminen ei aina onnistunut ja operaatio jouduttiin uusimaan samalle piirille useita kertoja. Tämä johtui siitä, että pastan painaminen saatavilla olevilla välineillä oli vaikeaa. Tästä johtuen pasta levisi helposti piirin pohjaan aiheuttaen juotenystysten yhdistymistä ja oikosulkuja. Toivoisinkin, että työtä jatkettaisiin ja pastanpainoon kehitettäisiin tarvittavat välineet, kuten esimerkiksi jonkinlainen pastanpainokone.</p>	
Luottamuksellinen Ei	
Hakusanat BGA-piiri, kontaktit, pastanpaino	
Säilytyspaikka Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto, Incap Oyj	



Kajaanin
ammattikorkeakoulu
Kajaani Polytechnic

ABSTRACT FINAL YEAR PROJECT

Faculty Faculty of Engineering	Degree programme Production Engineering of Electronics
Author(s) Sami Nivalainen	
Title Repairing BGA (Ball Grid Array) Chips	
Optional professional studies Production	Instructor(s) / Supervisor(s) Raimo Heikkinen (Incap Oyj) Pekka Juntunen (Kajaanin AMK)
Date 19. 3. 2003	Total number of pages 48+10
<p>This final year project was done to Incap Oyj. Its purpose was to examine BGA (Ball Grid Array) chips and to try to repair old chips. Some of the BGA chips may cost several hundreds of euros, so it is reasonable to try to repair them. A BGA chip is an electronic component that has connection underneath its case. In this project Topline BGA352T1.27-DC70 and Motorola's BGA chips were used. Motorola's chips are used by Incap Oyj and the purpose was to try to repair those components.</p> <p>BGA chips are placed on a circuit board in a reflow process. After this process BGA's connections cannot be seen with anything else but an x-ray machine. With x-ray one can see the different kinds of faults that could have been created in BGA chip connections. To repair those faults a BGA chip must be taken off from the circuit board. After this the chip does not include its old connections and those connections must be recreated so that the chips can be reused.</p> <p>New connections were created with ministencils and new solder paste. With a ministencil new solder paste cakes were printed on the chip and connections were created by using a Metcal BGA repair machine. With Metcal one can also simulate the reflow process, so the Metcal BGA repair machine can also be used to place and replace those chips on circuit board. After repairing, the chips were replaced on a circuit board and examined with x-ray.</p> <p>Different kinds of measurements showed that by using the right kind of ministencil the result can be almost as good as with a new unused BGA chip.</p>	
Confidential No	
Keywords Repair, BGA chip, ministencil	
Deposited at Incap Oyj, Kajaani polytechic	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	ELEKTRONIIKAN VALMISTUKSEN HAASTEITA	8
2.1	Uudet kotelointi- ja kontaktointitekniikat.....	8
2.2	Tekniikoiden luotettavuus	9
2.3	Juotosprosessin vaikutus nystymatriisikoteloiden luotettavuuteen	11
2.4	Keraami- ja muovinystymatriisikoteloiden prosessien vertailu	14
2.5	Ympäristövaikutukset.....	17
3	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	20
3.1	Voidit lyijyttömissä PBGA-juotosliitoksissa	20
3.2	Flip chip- ja μ BGA-komponenttien liitosten luotettavuus.....	22
4	BGA-PIIRIN UUDELLEEN PALLOTUS	25
4.1	Stensiilin mitoittaminen	25
4.2	Metcal BGA -korjausasema	29
4.3	Lämpötilaprofiili.....	29
4.3.1	Esilämmitys vaihe	30
4.3.2	Reflow-vaihe	30
4.3.3	Jäähdytysvaihe.....	31
5	TUTKIMUS	32
5.1	Työssä käytetyt menetelmät ja välineet	33
5.2	Tutkimus Topline BGA352T1.27-DC70 - piireillä	37
5.3	Tutkimus Incap Oyj:n Motorolan BGA-piirillä	41
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	44
6.1	Topline BGA352T1.27-DC70.....	44
6.2	Motorolan BGA-piiri	46
7	YHTEENVETO	47

- LIITTEET
- [A] Toplinen BGA-piirin spesifikaatio
 - [B] Motorolan piirin spesifikaatiot
 - [C] Stensiilien tilaus (Toplinen BGA-piiri)
 - [D] Tilausvahvistus (Toplinen BGA-piiri)
 - [E] Pastan spesifikaatiot
 - [F] Stensiilien tilaus (Motorolan BGA-piiri)
 - [G] Tilausvahvistus (Motorolan BGA-piiri)

1 JOHDANTO

Elektroniikkalaitteista halutaan yhä pienempiä, kevyempiä, tiheämmin pakattuja, halvempia, tehokkaampia ja luotettavampia. Tällöin liitos- ja kokoonpanoteknologioista tulee yksi tärkeimmistä elektroniikan komponenttien ja laitteiden suorituskyvyn kasvua ja luotettavuutta rajoittavista tekijöistä. Integroitujen piirien suorituskyvyn kasvu, signaalien suuremmat siirtonopeudet, pienemmät käyttöjännitteet ja CMOS-piirien pienenevät viivanleveydet asettavat kasvavia vaatimuksia kontaktissa olevien materiaalien fysikaaliselle ja kemialliselle yhteensopivuudelle ja valmistusteknologioille. [1]

Tämän insinööriyön tavoitteena onkin nystymatriisityyppisten komponenttikoteloiden uudelleen pallottaminen ja niihin juoton aikana syntyvien vikojen tutkiminen. Työ tehdään osittain Kajaanin ammattikorkeakoululle ja osittain Incap Oyj:lle. Tutkimuksissa käytetään Toplinen BGA352T1.27-DC70 komponenttia ja tuloksia sovelletaan Incap Oyj:n käyttämään Motorolan BGA-piiriin. Työssä rajoitutaan tutkimaan pelkästään BGA-piirin (Ball Grid Array) uudelleen pallotusta ja pallotuksen yhteydessä mahdollisesti havaittuihin ongelmiin. BGA-piirin uudelleen pallotus tarkoittaa käytännössä sitä, että vanhat juotepallot, jotka toimivat piirin kontakteina piirilevyn pintaan, poistetaan ja tilalle painetaan stensiiliä apuna käyttäen uudet pastakakut. Pastauksen jälkeen piirit kuumennetaan BGA-korjausasemassa. Korjausasema lämmittää piirin ja pastakakut uuniin asetetun profiilin mukaisesti, jolloin pasta käy sulassa olotilassa ja pastakakuista muodostuu uudet kontaktit BGA-piirin pohjaan. On myös muita tapoja joilla pastakakuista saadaan muodostumaan uudet kontaktit. Korjausasemaa kontrolloidaan tietokoneella ja asemalla voidaan ajaa halutunlaisia lämpöprofiileja.

Kajaanin ammattikorkeakoulu toimii tiiviissä yhteistyössä paikallisten yritysten kanssa. Kajaanin ammattikorkeakoulussa on käytössä mm. reflow-uuni, röntgen, sääkaappi, protouuni, BGA-korjausasema, flying probe ja kokonainen tuotantolinja, johon kuuluu kaikki tarpeellinen välineistö elektroniikan tuottamista varten. Yhteistyön ansiosta yritykset voivat halutessaan käyttää oppilaitoksen

korkeatasoista laitteistoa tutkiessaan tuotteidensa erilaisia ominaisuuksia. Yritykset ovatkin teettäneet ammattikorkeakoululla monenlaisia töitä, joihin on kuulunut myös BGA-piirin juotoskontaktien tutkimista, uudelleen pallottamista ja piirien asentamista takaisin piirikortille. Tästä johtuen onkin tarpeellista tutkia, kuinka luotettavia nämä korjausmenetelmät ovat ja miten ne onnistuvat Kajaanin ammattikorkeakoulun tarjoamilla välineillä.

2 ELEKTRONIIKAN VALMISTUKSEN HAASTEITA

2.1 Uudet kotelointi- ja kontaktointitekniikat

Alalla esiintyvä kova kilpailu pakottaa kehittämään uusia kontaktointi- ja kokoonpanoratkaisuja, joilla komponentti- ja kontaktitiheyksiä voidaan kasvattaa luotettavasti ja taloudellisesti. Pintaliitoskomponenttien rinnalle on tullut kotelon koko pinta-alan hyödyntäviä ratkaisuja, joissa perinteiset reunanastat on korvattu kotelon alla olevilla, pinta-alaryhmitetyillä juotenystyillä. Näin kotelon kokoa on saatu pienennettyä suhteessa integroidun piirin pinta-alaan, jolloin ns. piitehokkuus on kasvanut. [1]

BGA-kotelossa (Ball Grid Array) integroitu piiri liitetään koteloalustaan useimmiten lankaliitoksilla. Piirin alustan alle valmistetaan juotenystyt jakovälillä 1,0, 1,27 tai 1,5 mm useimmiten tina/lyijyjuotteesta. BGA-koteloissa on yleensä 200 - 1000 juotenystyä. Ne valmistetaan muovialustalle (PBGA), jolloin piirilevynä voidaan käyttää perinteistä FR4-materiaalia. BGA-kotelo sallii suuren nystymäärän suhteellisen karkealla jakovälillä. Sen sähkö- ja lämpöominaisuudet ovat hyvät, ja koteloa voidaan käyttää perinteiseen pintaliitostekniikkaan perustuvassa kokoonpanossa. Merkittävin ero reunanastallisiin pintaliitoskoteloihin verrattuna on se, että liitosnystyt jäävät piiloon komponentin ja piirilevyn väliin. Tästä johtuen liitoksia ei voi tarkastaa visuaalisesti kokoonpanon jälkeen, vaan on käytettävä fokusoitua röntgensuihkua tai akustisia menetelmiä. Myös komponenttien vaihtaminen on BGA-piirien kohdalla vaikeampaa ja siinä tarvitaan erillistä korjausasemaa. [1]

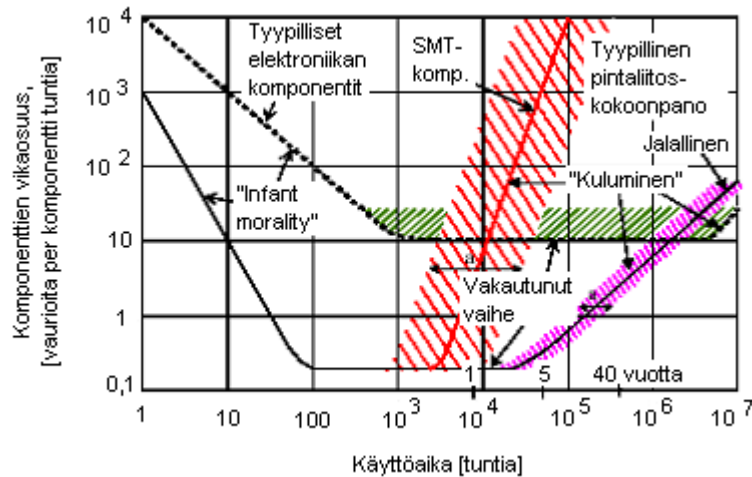
Mikro-BGA (μm -BGA) eli CSP (Chip Scale Package) on tiheämpi ja pienempi versio BGA-kotelosta. JEDEC-standardi määrittelee kotelon ulkoreunan pituuden korkeintaan 20 % suuremmaksi kuin mitä on sirun särmän pituus. CSP-kotelojen kontaktinystyjen jakoväli on yleensä 0,5–1,0 mm. CSP-koteloita on kymmeniä tyyppisiä, ja ne jaetaan alustan mukaan neljään ryhmään: jäykät alustat, joustavat alustat, kiekkotason kotelot ja "lead-frame"-kotelot.

Niitä käytetään pääasiassa muistipiirien kotelointiin joustavalle tai lead-frame-tyyppiselle alustalle. Niitä voidaan käyttää muiden pintaliitoskomponenttien kanssa, joskin prosessointi (pastanpaino, kohdistus, uunitus) on vaativampaa. Koska pieniin kontaktinystyihin kohdistuu termisessä jaksoittaisessa kuormituksessa merkittäviäkin rasituksia, käytetään usein alustäytettä. CSP-komponentit tarkastetaan ja testataan samoin kuin BGA-komponentit, mutta niiden pienet liitokset vaativat suurempaa tarkkuutta. [1]

Flip Chip –tekniikassa (FC) eli kääntösirutekniikassa paljaat, koteloimattomat puolijohdepalat liitetään suoraan alustalle. Tässäkin tekniikassa kontaktinystyt ovat komponentin alla. Piiri on koteloimaton ja nystyjen jakoväli on pienempi, yleensä alle 250 µm. Nystyjen pienuudesta johtuen ladontakoneen kohdistustarkkuuden on sulien nystyjen itsekohdistuvuudesta huolimatta oltava suuri. Kun piirilevymateriaalina on FR4 tai vastaava, piirit on aina suojattava alustäytteellä. Tämä pienentää komponenttiin kohdistuvia jännityshuippuja sekä suojaaa kosteudelta ja likaantumiselta. Samalla suojaus lisää prosessivaiheita ja kustannuksia, sillä alustäyte pitää levittää erillisellä laitteella ja kovettaa uunissa. Piirit on testattava ja korjattava ennen suojausta, koska alustäytteen kovetuttua niitä ei voi enää poistaa piirilevyiltä. Flip Chip –kokoonpanoissa tulee käyttää korkealaatuisia piirilevyjä. [1]

2.2 Tekniikoiden luotettavuus

Komponenttien ja piirilevyjen sähköisten kontaktien pienentyessä kontaktissa olevien puolijohteiden, johteiden ja eristeiden on sovittava fysikaalisesti ja kemiallisesti hyvin yhteen. Syntyneiden ongelmien ratkaisu edellyttää teknis-tieteellistä ongelmanratkaisutapaa. Esimerkiksi IC-tason suuremmat tiheydet ja kapeammat johdinleveydet edellyttävät ohuempia metallointeja, jolloin suuremmat virrantiheydet ja ohuiden materiaalikerrosten väliset vaikeasti hallittavat kemialliset reaktiot lisäävät vaurioriskiä. BGA-, CSP- ja Flip Chip –kokoonpanoissa juotetilavuudet pienenevät radikaalisti (kuva 1). Hauraiden metalliyhdisteiden osuus juoteliitoksissa kasvaa, ja luotettavuus huononee. [1]



Kuva 1. Kokoonpanon vikaosuus käyttöiän funktiona [1]

Liitostiheyksien kasvaessa puolijohdepalat joutuvat yhä lähemmäksi piirilevyä. Tämä kasvattaa liitosten leikkausmyötymiä ja lisää pintaliitostekniikalla kokoonpanun komponenttilevyn vaurioriskiä. Ongelmia tuo myös pastanystyjen muodostamien pienten liitosten heikko metallurginen stabiilisuus sekä piin ja piirilevyn (FR4) lämpölaajenemiskertoimien suuri ero, joka voi olla jopa noin 500 % (taulukko 1). Alustäytteestä huolimatta liitokset voivat murtua testauksessa ja, se tapahtuu useimmiten väsymällä. [1]

Taulukko 1. Esimerkkejä eri materiaalien lämpölaajenemiskertoimista [2]

Materiaali	Lämpölaajenemiskerroin /10 ⁻⁶ /aste, 293 K
FR-4	16 - 20
Kupari	16 - 17
BT	14
Pii	2,5
Al ₂ O ₃	6,0 - 7

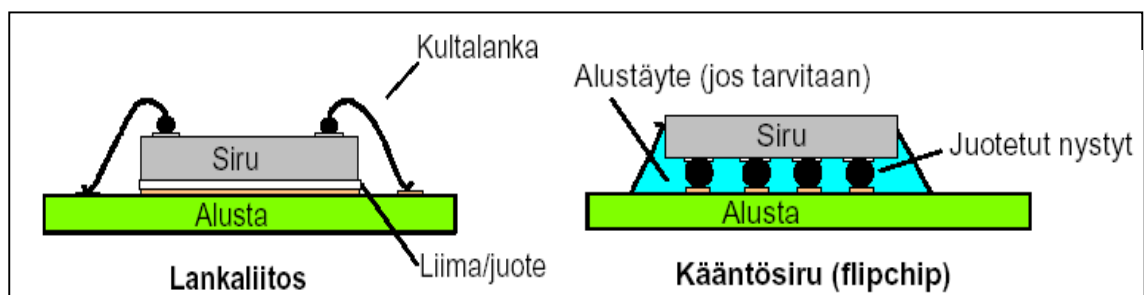
Kontaktien luotettavuus korostuu kannettavissa laitteissa ja autosovelluksissa, joissa komponentit altistuvat suurille lämpötilan muutoksille sekä epäpuhtauksille. Koska kokoonpanon luotettavuus riippuu myös lämpötilan vaihtelusta sekä kosteuden ja epäpuhtauksien vaikutuksesta syntyvistä käyttörasituksista, on tärkeää, että kokoonpanon reflow-prosessi mallinnetaan ja todennetaan kokeellisesti yhdessä komponenttilevyn luotettavuuden mallintamisen kanssa. Koska lämpötilavaikutukset kohdistuvat eri materiaalien liityntäkohtiin – esimerkiksi piirilevyissä, juotoksissa tai liimaliitoksissa –

komponenttilevyjen luotettavuuden mallintaminen kannattaa kytkeä osaksi elektroniikkalaitteen suunnittelua ja valmistuksen mallintamista. [1]

2.3 Juotosprosessin vaikutus nystymatriisikoteloiden luotettavuuteen

Nystymatriisikotelot (BGA, Ball grid array) yleistyvät nopeasti lisääntyvien suorituskysymysvaatimusten kasvaessa. Käyttökohteesta riippuen käytetään joko piirilevy- tai keraamipohjaista koteloa. Näiden kotelotyyppien sisäinen rakenne on samankaltainen, mutta piirilevyllä juotettuna kotelotyyppien välillä on suuri ero liitosluotettavuudessa. Tämä johtuu lähinnä kotelomateriaalien erilaisista lämpölaajenemisista verrattuna piirilevyyn. Luotettavuuteen voidaan vaikuttaa materiaaivalintojen lisäksi myös juotosprosessilla. Prosessin räätälöinti pelkästään yhdelle komponentille on mahdotonta, ja prosessissa on otettava huomioon myös muut piirilevyllä tulevat komponentit ja tehtävä niiden pohjalta toimiva kompromissi. [3]

Nystymatriisikoteloissa käytetään useita erilaisia liitosmenetelmiä puolijohdesirun kytkemiseksi kotelon alustaan. Yleisin tapa on lankaliitos (wire bonding), mutta tulevaisuudessa käytetään yhä enemmän kääntösirutekniikkaa (flip chip) (kuva 2). Molempia tekniikoita voidaan käyttää sekä keraami- että piirilevy-pohjaisille koteloille. [3]



Kuva 2. Lankaliitos- ja kääntösirutekniikan periaatekuva [3]

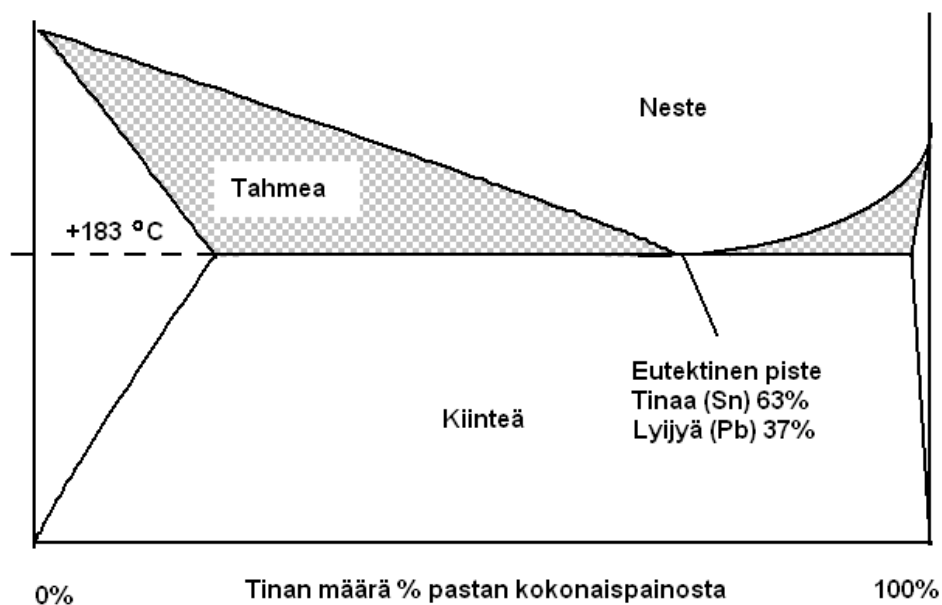
Piirilevypohjaisia muovinystymatriisikoteloita kutsutaan yleisnimityksellä PBGA (Plastic Ball Grid Array). Piirilevymateriaali on yleensä BT:tä (bismaleimiditriatsiini) ja harvemmin FR-5:sta. Joissakin kotelotyypeissä on

käytetty alustana joustavia polymiditeippejä. Puolijohdesirun kytkemisen jälkeen siru valetaan muoviin. Lämmönsiirron tehostamiseksi voidaan lisätä metallikansi komponentin päälle. Kaikille näille muovikoteloille on yhteistä nystymateriaali, joka on juotos-tapahtumassa sulavaa eutektista tinalyijyä (Sn63Pb37), jossa tinaa on 63 % ja lyijyä 37 %. Juotostapahtumassa nysty sulaa yhdessä juotospastan kanssa ja muodostaa yhtenäisen pallomaisen liitoksen. Syntyvän liitoksen korkeus on kuitenkin matalampi kuin alkuperäisen nystyn, eli nysty ”romahtaa” juotoksessa (kuva 3). [3]



Kuva 3. PBGA-liitos, jossa nysty eutektista tinalyijyä [3]

Tina/lyijytuotteiden eutektisuus tarkoittaa, että sopivalla seossuhteella saadaan aikaiseksi eutektinenseos jonka sulamispiste on alhaisempi kuin pelkän tinan tai lyijyn. Asiaa selventää kuva 4.



Kuva 4. Eutektinen tina/lyijyseos

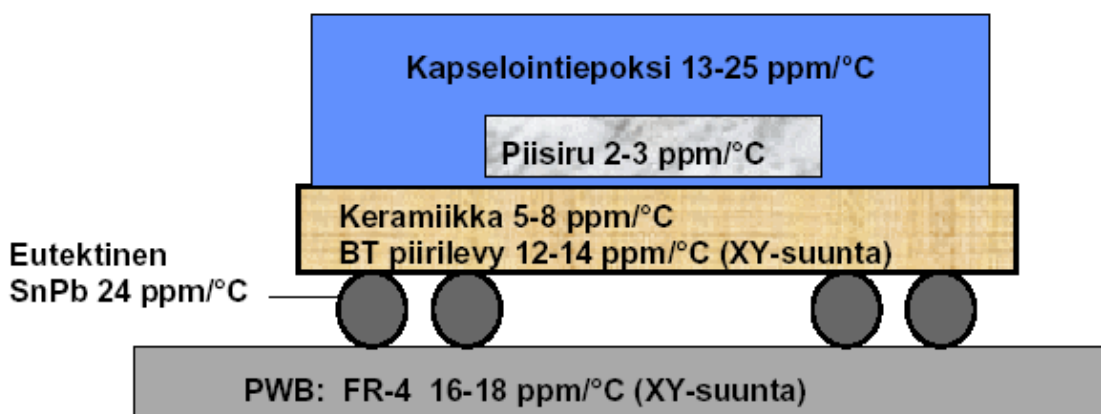
Nystyjen muodosta riippuen keraamipohjaisia nystymatriisikoteloita kutsutaan eri nimityksillä. Jos nysty on pallo, puhutaan CBGA:sta (Ceramic Ball Grid Array). Jos nystyn muoto on pilari, käytetään nimitystä CCGA (Ceramic Column Grid Array). Keraamikotelot ovat tyypillisesti painavampia kuin muovikotelot. Tästä syystä keraamikoteloissa käytetään juotostapahtumassa sulamattomia palloja tai pilareita (kuva 5). Näiden koostumus voi olla esimerkiksi Sn10Pb90, jonka sulamispiste on 268 - 304 °C. [3]



Kuva 5. CBGA-liitos vasemmalla ja CCGA-liitos oikealla [3]

Toinen syy sulamattomien pallojen käytölle ovat suuret lämpölaajenemiserot keramiikan ja piirilevyn välillä. Sulamattomilla palloilla saadaan kasvatettua liitoskorkeutta ja samalla parannettua liitostason luotettavuutta. Luotettavuuden parantamiseen pyritään myös pilareiden käytöllä pallojen sijasta isommilla keraamikoteloilla. Pilarit pystyvät joustamaan lämpötilanvaihteluissa enemmän kuin pallot. [3]

Keraamisille koteloille, jotka juotetaan kiinni FR-4 piirilevylle, lämpölaajenemiserot ovat merkittävä luotettavuusriski verrattuna piirilevypohjaisiin paketteihin. Tyypillisesti keramiikan lämpölaajenemiskerroin vaihtelee materiaalista riippuen 5 - 8 ppm/°C ja FR-4 piirilevyn 16 - 18 ppm/°C (kuva 6). Toistuvat lämpötilan vaihtelut rasittavat liitoksia aiheuttaen lopulta niiden vikaantumisen. Luotettavuusongelmat lisääntyvät kotelokoon kasvaessa. Piirilevypohjaisissa koteloissa lämpölaajenemiserot eivät ole rajoittavin tekijä luotettavuusmielessä vaan rajoitukset tulevat lähinnä kotelon koosta ja tasomaisuudesta, esim. sekä kotelon piirilevy että emopiirilevy voivat olla kieroja. [3]



Kuva 6. Eri materiaalien lämpölaajenemiskertoimet piirilevyllä [3]

2.4 Keraami- ja muovinystymatriisikoteloiden prosessien vertailu

Nystyvälän ollessa pieni tai nystymäärän ollessa suuri voidaan tarvita ns. mikroläpivientejä, jotta komponentit pystytään johdottamaan. Mikroläpiviennit sijoitetaan suoraan liitosalueelle, ja niiden tarve tulee tietää etukäteen, sillä mikroläpivientipiirilevyillä on erilaiset materiaali sekä suunnittelusäännöt. Mikroläpivientejä tarvitaan yleensä muovikoteloilla, koska koteloita löytyy myös 0,5 - 0,8 mm jalkovälillä. Keraamikoteloilla jalkoväli jää yleensä 1,0 - 1,5 mm, jolloin läpivientien tarve voi tulla signaalin nopeudesta tai isosta pallomäärästä. [3]

Nystymatriisikomponentit voidaan sijoittaa molemmiin puolin piirilevyä tiettyjen ehtojen sanelemana. Komponentteja ei tulisi sijoittaa ns. peilikuvana eli samalle kohdalle eri puolille piirilevyä. Tämä johtuu siitä, että näin asetettuna komponentit voivat heikentää luotettavuutta jäykistämällä levyä. On olemassa suunnitteluohjeita, joiden mukaan muovikoteloitten välille tulisi jättää vähintään 2,54 mm:n väli ja keraamikoteloitten välille 5,08 mm. Komponentteja sijoitettaessa tulisi ottaa huomioon myös mahdollinen korjausprosessi, ja jättää komponentin ympärille riittävästi tilaa korjaustyökaluja varten. [3]

Muovinyستمatriisikomponenteilla juotepastan määrällä ei ole ratkaisevaa merkitystä sulavan nystyn takia. Periaatteessa riittää, että piirilevyn juotosalueella on juoksutinta (fluksia) niin paljon, että sulava nysty kykenee kostuttamaan juotosalueen. Käytännössä kuitenkin pastakakkua tarvitaan komponentista ja piirilevystä tulevien tasomaisuuserojen kompensoimiseen, koska muovikotelot ovat yleensä kierompia kuin keraamikotelot. Juotepastan tilavuus määräytyy lähinnä pastanpainon rajoituksista; pastan ominaisuuksista ja stensiilipaksuudesta. Esimerkiksi 0,8 mm:n jakovälillä oleville nystymatriisikomponenteille juotepasta voidaan painaa korkeintaan 150 μm :n paksuisella stensiilillä. [3]

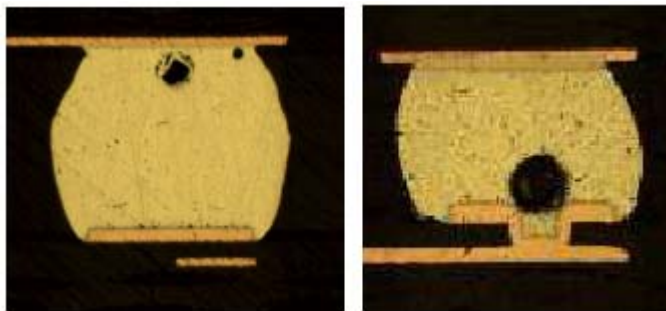
Koska keraamikoteloiden juotenystyt ovat tavallisesti juotetapahtumassa sulamatonta juotetta, on pastakakun pystyttävä kompensoimaan sekä tasomaisuuserot että muodostamaan oikeanmuotoinen juotos. Keraamikomponenteille ilmoitetaan yleensä ministensiilin paksuudeksi 150 μm . Joissakin lähteissä tosin suositellaan vähintään 180 μm :n paksuutta luotettavan liitoksen aikaansaamiseksi. Pastan painaminen vaikeutuu, jos samalle puolelle piirilevyä tarvitaan myös pienemmän jalkovälin komponentteja, sillä tällöin voidaan tarvita ns. porrasstensiilejä, joissa on yhdistetty eri paksuuksia samalle stensiilille. [3]

Muutamissa keraamikotelotyypeissä käytetään valkoista keraamia. Tämä voi aiheuttaa ongelmia ladontakoneelle, koska koneen kamerajärjestelmä ei kykene löytämään kiiltäviä nystyjä keraamitaustasta kontrastin puutteen vuoksi. Muovikoteloilla tätä ongelmaa harvemmin on, jos komponentit vain ovat hyvälaatuisia. Pienten nystyjen jakovälin yhteydessä vaaditaan suurempaa ladontatarkkuutta. Nystymatriisikoteloiden ladontatarkkuuden heittoja voidaan kompensoida komponenttien itsekohdistuvuudella juotostapahtumassa. Tällöin sulanut juote pystyy pintajännityksensä avulla vetämään nystyn juotosalueelle, vaikka komponentin kohdistus olisikin hieman sivussa. [3]

Muovi- ja keraaminystykomponenteille maksimijuotoslämpötila on +220 °C. Muovikoteloilla raja tulee Jedec/IPC-standardin J-STD-020 määrittelemästä kosteusluokituksesta, jossa tietyn testiohjelman mukaisesti määritellään komponentin kosteusherkkyyssluokka. Keraamikoteloiden Pb90Sn10-nystyn liijy alkaa liueta voimakkaasti eutektiseen juotteeseen lämpötilan ylittäessä +220 °C. Tästä johtuen eutektisen tinaliijyn sulamispiste nousee ja hankaloittaa komponentin irrotusta korjausta varten. Keraamin liitosmetallurgiasta johtuen tämä voi joillakin materiaaleilla vaikuttaa myös luotettavuuteen. Keraamikotelot ovat vähemmän herkkiä kosteudelle kuin muovikotelot. [3]

Isoissa keraamikoteloissa on paljon termistä massaa. Varsinkin silloin, kun koteloihin on kiinnitetty massiivisia jäähdytyslevyjä. Juotosprosessissa tällaiset kotelot vaativat hitaamman ratanopeuden tai korkeamman lämpötilan, jotta saadaan aikaan luotettava liitos piirilevyyn. Liiallinen lämpö voi kuitenkin aiheuttaa piirilevyn samalla puolella olevien pienempien komponenttien vioittumisen. Piirilevypohjainen kotelo voi myös taipua prosessin aikana, joko reunoista tai keskiosasta. Taipuminen vaikuttaa samalla myös liitosten muotoon ja pahimmassa tapauksessa osa liitoksista voi jäädä avoimiksi. Syitä taipumiseen on useita, esimerkiksi suuret lämpötilaerot kotelossa, liian korkea juotoslämpötila, kotelon materiaali ja rakenne. [3]

Muovikoteloiden nystyliitoksissa voi tulla ongelmia huokosten (voidien) kanssa. Tämä johtuu siitä, että koko liitosnysty käy sulassa tilassa juotosprosessin aikana. Voidien syntyyn vaikuttavat mm. juotosprofiili, juotepasta ja liitosgeometria. Myös liitosalueelle sijoitetut mikroläpiviennit altistavat voidien syntymiseen ja samalla mahdollisesti kasvattavat niiden kokoa (kuva 7). Ongelmat voidien kanssa kasvavat pienenevien jakovälien ja pallokoon myötä. Vaarallisimpia voidit ovat silloin, kun ne syntyvät liitoksen rajapinnalle, sillä myös jännitysten aiheuttamat murtumat pyrkivät etenemään rajapintoja pitkin. [3]



Kuva 7. Voideja PBGA-liitoksessa. Vasemmalla normaali liitosalue ja oikealla mikroläpivienti liitosalueella [3]

Nystymatriisikomponenttien korjaamiseen käytetään erillisiä kuumailmakorjausasemia. Korjausasemassa levy lämmitetään tiettyyn lämpötilaan ja tämän jälkeen komponenttia kuumennetaan paikallisesti puhaltamalla siihen kuumaa ilmaa kunnes se irtoaa. Liitosalueet puhdistetaan juotosjäänteistä. Keraamikoteloiden kanssa puhdistaminen voi olla hankalaa, koska osa Pb90Sn10-tinapalloista on voinut jäädä kiinni piirilevyyn komponenttia irrotettaessa. Muovikoteloiden kanssa uuden kotelon kiinnittämiseen riittää pelkän juoksutteen levittäminen liitosalueelle, koska uusi liitos voidaan muodostaa sulavasta nystystä. Keraamikoteloille joudutaan painamaan minstensiliä käyttäen uudet juotepastat, sillä niiden nystyt eivät sula. Nystymatriisikotelot juotetaan kiinni levyyn simuloimalla juotosuunin (reflow-uunin) profiilia. Korjaaminen on hidas prosessi verrattuna perinteisiin jalallisiin komponenttikoteloihin. [3]

2.5 Ympäristövaikutukset

Uusista ympäristömääräyksistä johtuen elektroniikan valmistuksessa on ryhdyttävä käyttämään yhä vähemmän ympäristöä rasittavia valmistustekniikoita ja raaka-aineita. Nämä uudet määräykset vaikuttavat suoraan elektroniikkatuotteiden luotettavuuteen. Ihmisille ja ympäristölle haitallisen lyijyn käyttö on kielletty tai sitä on rajoitettu monissa kohteissa. Teollisuus käyttää lyijyä juotteissa, sekä komponenttien ja piirilevyjen suojapinnoitteissa. Lyijyn korvaamista muilla metalleilla on tutkittu kiivaasti niin Yhdysvalloissa kuin Euroopassakin. EU:n sähkö- ja elektronisten laitteiden

kierrätystä koskevassa direktiiviehdotuksessa esitetään, että lyijyn käyttö kiellettäisiin kokonaan vuoteen 2004 mennessä. [1]

Tällä hetkellä ei ole olemassa eutektisen tina/lyijy-seoksen korvaava seosta, mutta lupaavia vaihtoehtoja on useita. Mekaanisilta ominaisuuksiltaan parhaimmat lyijyttömät tuotteet ovat tinavaltaisia seoksia, joissa lyijyn sijasta on käytetty pieniä määriä muita seosaineita. Näiden seoksien sulamispisteet ovat kuitenkin jopa 30 - 50 °C korkeampia kuin perinteisten tina/lyijyseosten. Tämä asettaakin komponenttien kokoonpanolle merkittäviä uusia haasteita. Muutoksia tulee myös uusien lyijyttömien piirilevyjen suojapinnoitteiden käyttöönotosta. Näiden muutosten vaikutusta reflow-prosessiin ja itse kokoonpanoon on tutkittu erittäin vähän. [1]

Myös juottamisprosessissa käytettyjen juoksutteen eli fluksien ympäristövaikutuksiin on kiinnitetty huomiota. Tämä niin sanottu pesuton juottaminen on pitkälti samanlainen kuin perinteinenkin pintaliitoskokoonpano, mutta siinä ei suoriteta juoksutejäänteiden pois pesua. Tällä pesuttomalla prosessilla pyritään madaltamaan tuotantokustannuksia. Puhdistusvaiheen pois jättäminen vähentää laite-, kemikaali-, työvoima-, ja jättekustannuksia. Pesuton kokoonpano ei kuitenkaan poista piirilevyillä ja komponenteissa olevia epäpuhtauksia, ja tästä johtuen kaikki osat on esipuhdistettava. Kokoonpanon suorituskyky riippuu pesuttomalle kokoonpanolle ominaisista vikatyypeistä, kuten oikosulkuja aiheuttavien juotepallojen ja juotesiltojen muodostumisesta, juoksutejäänteiden aiheuttamista mekaanisesti heikoista liitoksista, korroosion vaurioittamista liitoksista ja polymeeripinnoitteiden heikosta tarttuvuudesta. Pesuttomien pastojen käyttö edellyttääkin tarkempaa reflow-uunin lämpötilaprofiilin kontrollointia, sillä juotettavuus tulee juoksutteen aktiivisuuden vähentyessä herkästi lämpötilasta riippuvaiseksi. [1]

Suurimmat haasteet pesuttomassa kokoonpanossa liittyvät tihentyvien kokoonpanojen luotettavuuteen. Näihin tulisi päästä taloudellisesti edullisessa reflow-prosessissa, matala-aktiivisemmilla juoksutteilla ilma- tai typpi-atmosfäärissä. Yksi tämän kokoonpanon ongelma on erikoistiheästi kokoonpantavan elektroniikan tarvitsemat hienojakoiset (fine-line) juotepastat.

Näissä juotepartikkelien koon pienentyessä juotteen oksidien määrä kasvaa. Tämä aiheuttaa sen, että hyvän juottuvuuden ja luotettavuuden takaamiseksi juoksutteen tulisi olla aktiivisempi, mikä taas on ristiriidassa pesuttomuuden vaatimusten kanssa. [1]

3 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

Kahdessa seuraavassa luvussa on käyty läpi aikaisempia BGA-piireihin liittyviä tutkimuksia. Molemmat tutkimukset ovat peräisin Tampereen teknillisen korkeakoulun Porin korkeakouluyksiköstä.

3.1 Voidit lyijyttömissä PBGA-juotosliitoksissa

Tässä tutkimuksessa (lähde 4) oli keskitytty tutkimaan voidien vaikutuksia juotosliitoksiin. Voidit ovat yksi tekijä, jotka heikentävät liitosten luotettavuutta. Voidit ovat yksinkertaisesti juoteliitoksissa esiintyviä onteloita, jotka muodostuvat reflow-prosessin aikana juotteen sisään loukkuun jäävistä kaasukuplista. Nämä kaasukuplat taas ovat muodostuneet juotepastan sisältämistä flukseista ja muista kemiallisista aineista. Voidit kasvavat suuremmiksi sulassa tilassa olevassa juotteessa useiden pienten voidien yhdistymisen myötä. Pääasialliset prosessitekijät jotka vaikuttavat voidien muodostumiseen, ovat reflow-profiili, fluksin tyyppi ja sen määrä, sekä itse juotepastan määrä. On havaittu joitakin suuntaviivoja: voidien määrä kasvaa piirilevyn metallisoinnin juotettavuuden laskiessa, fluksin aktiivisuuden laskiessa, padien koon kasvaessa ja reflow-profiilin pidentyessä. [4]

Tutkimuksessa käytettiin PBGA-komponentteja. Näitä komponentteja testattiin kolmella eri pastatyypillä: tina-lyijy ja lyijyttömällä juotosliitoksilla, sekä juotosliitoksilla, jotka oli valmistettu käyttäen lyijytöntä juotepastaa sekä lyijyä sisältäviä PBGA-komponentteja. Juotosliitoksien määrä ja koko laskettiin, sekä niiden luotettavuus testattiin lämpösyklitestin avulla. Testeissä käytetty lyijytön pasta sisälsi 95,5 % tinaa, 3,8 % hopeaa ja 0,7 % kuparia. Sen sulamispiste oli 217 °C. Lyijyllinen juotepasta sisälsi 63 % tinaa ja 37 % lyijyä. Sen sulamispiste oli 183 °C. Lyijyllisten PBGA-komponenttien nystyt sisälsivät 62 % tinaa, 36 % lyijyä ja 2 % hopeaa. Kyseinen seos on yleisesti käytetty nykypäivän komponenteissa, sillä hopean lisäys juotteeseen alentaa sulamispisteen 179 °C:seen ja samalla vahvistaa sen mikrorakennetta. [4]

Testissä suoritettiin kolme erilaista uunitusta, joilla myös saatiin kolmenlaisia juotosliitoksia. Ensimmäisenä oli kerran uunin läpi menneet (1x), kaksi kertaa oikeinpäin uunin läpi menneet (2B) ja kerran oikeinpäin ja kerran ylösalaisin uunin läpi menneet (2A). Lyijyllisillä ja lyijyttömällä pastoilla käytettiin eri reflow-profiilia. Lyijyttömässä reflow-profilissa huippulämpötila kävi 251 °C:ssa ja juote oli sulana 47 sekuntia. Tina-lyijy reflow-profiilin huippulämpötila kävi 227 °C:ssa ja juote oli sulana 45 sekuntia. Seuraavassa on esitetty testin tulokset (taulukko 2). [4]

Taulukko 2. Voidianalyysin tulokset [4]

Juote/nysty	Reflow	Voideja sisältävien nystyjen määrä yhdessä juotosliitoksessa	Voidien koko	Voidien ala / nysty	Voidien määrä / nysty
A	1x	Lähes kaikissa liitoksissa	<10%	10-30%	1-5
A	2A	Muutamassa liitoksessa	<10%	0-5%	1-2
A	2B	Kaikissa liitoksissa	<10%/10-50%	25-55%	3-6
B	1x	Kaikissa liitoksissa	<10%/10-50%	20-30%	1-3
B	2A	Muutamassa liitoksessa	<10%/10-50%	5-15%	1-2
B	2B	Kaikissa liitoksissa	10-50%/>50%	30-75%	1-3
C	1x	Lähes kaikissa liitoksissa	<10%	10-35%	5-11
C	2A	Kaikissa liitoksissa	<10%/10-50%	5-30%	2-7
C	2B	Kaikissa liitoksissa	<10%/10-50%	10-30%	2-5

A = SnPb/SnPbAg

B = SnAgCu/SnPbAg

C = SnAgCu/SnAgCu

Tutkimuksen lopputuloksena havaitaan, että kaikissa juotosliitoksissa voidien ala kasvoi juotteiden sula-aikojen kasvaessa. Lisäksi havaitaan, että mitä kauemmin juote oli sulana, sitä enemmän voidien määrä pieneni ja sitä suuremmaksi niiden ala kasvoi. Tämä taas vaikutti heikentävästi liitoksien luotettavuuteen. [4]

Voidien ala oli hyväksyttävä sekä täysin lyijyttömissä että lyijyllisissä juotosliitoksissa. Näistä poiketen lyijyttömästä pastasta ja lyijyllisistä PBGA-komponenteista valmistetuissa liitoksissa esiintyi huomattava määrä voideja. Tämä heikentää liitosten luotettavuutta siinä määrin, että onkin suositeltavaa, ettei tina-lyijy komponentteja käytettäisi yhdessä lyijyttömän juotepastan kanssa, koska tämä voi aiheuttaa vakavia luotettavuusongelmia tuotteissa. [4]

Kun vertaillaan eri reflowkertoja toisiinsa, havaitaan, että suurin määrä ja suurimmat voidit esiintyvät juotosliitoksissa, jotka olivat menneet kaksi kertaa reflow-uunin läpi oikeinpäin. Tämä myös heikentää liitosten luotettavuutta. Pienin määrä voideja esiintyy liitoksissa, jotka menivät reflow-uunin läpi kerran oikeinpäin ja toisen kerran ylösalaisin. Tämä vahvistaa näiden liitosten luotettavuutta, ja tämä ilmiö tulisi ottaa huomioon jo piirilevysuunnittelussa pyrittäessä mahdollisimman luotettavaan lopputulokseen. [4]

3.2 Flip chip- ja μ BGA-komponenttien liitosten luotettavuus

Tässä työssä (lähde 5) on tutkittu kahden erilaisen komponentin käyttöön ja luotettavuuteen liittyvät olennaisimmat seikat. Tutkitut komponentit olivat (CSP) μ BGA- ja (FC) flip chip-komponentti. Flip chip -komponenttien liittämiseen ei käytetty lainkaan pastaa vaan pelkästään juoksutetta. Pääasiallisena juoksutteena oli käytetty juoksutetta D, joka oli ei-pestävää tyyppiä, sekä vesiliukoista C juoksutetta. Lisäksi oli käytetty E- ja F -juoksutekyniä, joiden juoksute oli myös ei-pestävää tyyppiä (taulukko 3). [5]

Taulukko 3. Testeissä käytetyt juoksutteen ja juotospastat [5]

Pasta	Juoksute	Tyyppi
A		Vesipestävä
B		
	C	"irtojuoksute"
	D	"irtojuoksute"
	E	Juoksutekynä
	F	Juoksutekynä

μ BGA –komponenttien liittämiseen oli käytetty kahta eri juotospastaa. Pääasiassa käytettiin pastaa B, jonka partikkelikoko oli 20 - 45 μ m. Toinen pasta oli vesipestävää pastaa A, jonka partikkelikoko oli 25 - 45 μ m. Molempien pastojen seos on Sn62Pb36Ag2. Komponenttien liittämiseen käytettiin flip chip -liitoskonetta eli ns. bonderia, lisäksi käytettiin perinteistä ladontakonetta sekä korjausasemaa. Liitosten luotettavuus tutkittiin rasittamalla kokoonpanoja lämpösykleillä, joissa lämpötila vaihteli välillä $-40...+124$ °C. Lämpösyklejä tehtiin levyille 1000 kappaletta. Seuraavassa taulukossa on esitetty eri yhdistelmien vikaantumiset testeissä (taulukko 4). [5]

Taulukko 4. Eri yhdistelmien vikaantuminen testeissä [5]

komponentti	juoksute	pasta	UF	ei UF	vika %	ka. rikki
CSP		A		*	44	807
CSP		A	*		93	260
CSP		B		*	64	428
CSP		B	*		85	378
CSP	*		*		96	252
CSP	*			*	92	340
FC	*			*	100	9
FC	D		*		73	292
FC	C		*		50	522

UF = pohjatäyteaine

Taulukosta näkyy, että parhaiten flip chip -komponenteista testeissä pärjäsivät juoksutteilla C liitetyt komponentit, joissa käytettiin pohjatäyteainetta. μ BGA-komponenteista parhaiten menestyivät A-pastalla liitetyt ja ne joissa ei käytetty pohjatäyteainetta. Juoksutteilla liitetyt μ BGA-komponentit rikkoontuivat melkein kaikki jo testin puoleen väliin mennessä. Korjausasemalla juoksutetta käyttäen liitetyt komponentit kestivät keskimäärin vain 300 sykliä. Tästä johtuen niiden luotettavuutta ei voida pitää yhtä hyvänä kuin pastalla liitettyjen komponenttien. [5]

Eri yhdistelmillä tehtyjen testien tulokset vaihtelivat suuresti. Komponenttien pohjatäyttämällä ei ollut odotettua vaikutusta luotettavuuteen CSP-komponenttien osalta. Sen sijaan flip chip -komponenteilla pohjatäyteaine osoitti tärkeytensä. Ilman pohjatäytettä olevat flip chip -komponentit hajosivat heti testien alussa. Vertailtaessa eri komponenttien kestävyyttä keskenään ei parhaiten menestyneiden yhdistelmien kesken ollut suurta eroa. [5]

4 BGA-PIIRIN UUELLEEN PALLOTUS

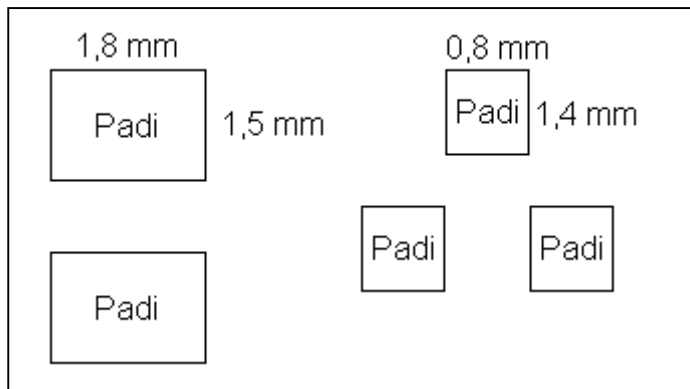
BGA-piirin uudelleen pallotus on elektroniikan tuotannossa tehtävä korjaustoimenpide, joka suoritetaan erillisellä korjausasemalla. Siinä BGA-piiri irrotetaan piirilevyltä, BGA-piiristä ja piirilevystä poistetaan juotteen jäänteet, sekä suoritetaan BGA-piirin uudelleen pallotus. BGA-piirin pohjaan siis luodaan uudet nystyt ja komponentti voidaan juottaa uudelleen kiinni piirilevyyn. Syinä BGA-piirin irrottamiseen ja uudelleen pallottamiseen voivat olla mm. alkuperäisen juotosprosessin aikana syntynyt oikosulku, komponentin alle muodostuneet satelliitit, nystyjen sisään jääneet kaasukuplat (voidit) tai nystyjen huono kontakti piirilevyn padeille. Uudet nystyt piirin pohjaan saadaan luotua painamalla ministsiilillä uudet pastakakut entisten nystyjen paikalle ja kuumentamalla piiri riittävän kuumaksi korjausaseman avulla. Korjausasemalla simuloidaan siis normaalia reflow-prosessia ja näin pastakakkujen sulaessa prosessin aikana piirin pohjaan muodostuvat uudet nystyt. Tämän jälkeen piiri voidaan asettaa takaisin piirilevylle korjausaseman avulla tai ajaa uudelleen reflow-uuniin läpi, jolloin BGA-piiri juottuu takaisin piirilevyn pintaan.

4.1 Stensiilin mitoittaminen

Stensiili on valmistettu ohuesta metallista. Sen avulla painetaan pasta esimerkiksi piirilevylle, tai BGA-piirin uudelleen pallotuksen yhteydessä, BGA-piirin pohjaan. Stensiilissä on eri menetelmillä valmistettuja stensiiliaukkoja, joiden läpi pasta painetaan. Stensiilillä siis saadaan pasta juuri niihin paikkoihin mihin sitä juotosprosessissa tarvitaan, eli padeille. Padit ovat piirilevyllä niitä kohtia, joihin eri komponenttien liitospinnat osuvat. Jokaiselle erilaiselle piirilevylle on valmistettava oma stensiilinsä.

Stensiilin mitoittamisessa on muutamia yleisiä suosituksia. Stensiiliaukkojen tulee olla noin 90 % padien koosta, eli aukot ovat pienempiä kuin piirilevyn padit. Stensiilin paksuudeksi suositellaan $\frac{1}{4}$ tai $\frac{1}{5}$ piirilevyn padien pienimmästä mitasta. Seuraavassa on yksinkertainen mitoitus esimerkki, jossa mitoitetaan stensiiliaukot ja stensiilin paksuus (esimerkki 1).

Esimerkki 1



Kuva 8. Kondensaattorin padien mitat vasemmalla ja transistorin mitat oikealla

Mitoitetaan stensiili seuraavanlaisia komponentteja varten: kondensaattori 1206 ja transistori SOT 23. Ylhäällä on esitetty piirilevyllä komponentteja varten olevat padit ja niiden mitat (kuva 8). Lasketaan kondensaattorin stensiiliaukkojen mitat.

$$1,8 \text{ mm} \times 0,9 = 1,62 \text{ mm}$$

$$1,5 \text{ mm} \times 0,9 = 1,35 \text{ mm}$$

Stensiiliaukkojen mitat ovat siis 1,62 mm ja 1,35 mm. Näiden perusteella saadaan laskettua stensiilin paksuus. Valitaan pienempi mitta ja ratkaistaan paksuus sen mukaan.

$$1,35 \text{ mm} \times 1/4 = 0,3375 \text{ mm}; \text{ eli noin } 0,34 \text{ mm}$$

Lasketaan transistorin stensiiliaukkojen mitat ja stensiilin paksuus samalla tavalla kuin edellä.

Mitat

$$0,8 \text{ mm} \times 0,9 = 0,72 \text{ mm}$$

$$1,4 \text{ mm} \times 0,9 = 1,26 \text{ mm}$$

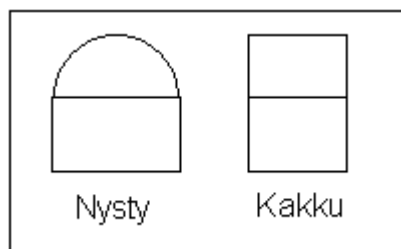
Paksuus

$$1,26 \text{ mm} \times 1/4 = 0,18 \text{ mm}$$

Kun tutkitaan saatuja tuloksia huomataan, että 0,34 mm:n stensiili on liian paksu. Pasta ei irtoa liian paksusta stensiilistä kunnolla ja liian korkeat pastakakut voivat romahtaa. Valitaan stensiilin paksuus siis pienemmäksi 0,18 mm:n mukaan ja valitaan lopulliseksi paksuudeksi tasaluku 0,2 mm. Tällöin saadaan riittävän korkeat pastakakut, eikä pasta enää tartu stensiiliin.

Seuraavassa mitoitetaan BGA-piirin stensiili. Tarvittavat tiedot saadaan stensiilin datasivuilta (esimerkki 2).

Esimerkki 2



Kuva 9. Valmis nysty ja pastakakku

Piirin datasivusta (liite A) nähdään, että nystyn korkeus on 0,6 mm ja sen halkaisijan minimi on 0,65 mm. Nähdään (kuva 9), että nysty koostuu kahdesta osasta, puolikkaasta pallosta ja lieriöstä. Aluksi on ratkaistava nystyn kokonaistilavuus. Tilavuus saadaan ratkaistua seuraavan kaavan mukaan (1).

Tilavuuden yhtälöksi saadaan

$$V_{nysty} = \frac{1}{2} * \frac{4\pi r^3}{3} + \pi r^2 h, \quad (1)$$

missä r on nystyn säde 0,325 mm ja h lieriön korkeus 0,275 mm. Ratkaistaan kaava

$$V_{nysty} = \frac{1}{2} * \frac{4\pi (0,325 \text{ mm})^3}{3} + \pi (0,325 \text{ mm})^2 (0,6 \text{ mm} - 0,325 \text{ mm})$$

$$V_{nysty} \approx 0,1631 \text{ mm}^3$$

Nystyn tilavuudeksi saadaan siis noin $0,16 \text{ mm}^3$. Tämän pohjalta saadaan laskettua pastakakun tilavuus. Tilavuutta laskettaessa tulee ottaa huomioon, että pasta koostuu puoliksi fluksista, joka haihtuu pois uunituksen aikana, joten pastakakun tilavuuden tulee olla kaksi kertaa suurempi kuin valmiin nystyn. Saadaan seuraavanlainen kaava (2).

Pastakakun tilavuuden kaavaksi saadaan

$$V_{kakku} = 2 * V_{nasta} , \quad (2)$$

josta sijoittamalla saadaan ratkaistua pastakakun tilavuus

$$V_{kakku} = 2 * 0,1631 \text{ mm}^3 = 0,3262 \text{ mm}^3 .$$

Nyt on saatu selvitettyä pastakakun tilavuus. Seuraavaksi pitää ratkaista stensiilin paksuus ja tarvittavien reikien halkaisija. Se saadaan seuraavasta kaavasta (3).

$$V_{kakku} = V_{nasta} \rightarrow 0,1631 \text{ mm}^3 = \pi r^2 h , \quad (3)$$

jossa h on kakun korkeus, joka valitaan aiemman esimerkki 1 mukaan $0,2 \text{ mm}$:ksi. Kaavasta halutaan ratkaista r , joten muutetaan kaava seuraavaksi

$$r = \sqrt{\frac{V_{nasta}}{\pi h}} . \quad (4)$$

Tähän sijoittamalla saadaan

$$r = \sqrt{\frac{0,1631 \text{ mm}^3}{\pi * 0,2 \text{ mm}}} \approx 0,5 \text{ mm} .$$

Pastakakun säteeksi saadaan siis 0,5 mm ja tästä halkaisijaksi $2 \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$. Lopulliset mitat stensiilin tekemistä varten ovat siis stensiilin paksuus 0,2 mm ja stensiiliaukkojen halkaisijat 1 mm. Halkaisijaa valittaessa tulee ottaa huomioon, ettei siitä tule suurempaa kuin mikä on BGA-piirin nystyjen keskipisteiden etäisyys toisistaan. Datasivusta (liite A) nähdään, että nystyjen keskipisteiden etäisyys toisistaan on 1,27 mm, joten laskettu 1 mm:n halkaisija on sopiva.

4.2 Metcal BGA -korjausasema

Korjausasema koostuu työkaluista joilla voidaan irrottaa, kohdistaa ja asentaa BGA-piirejä piirilevyille. Siinä on kaksi yksikköä joista, toisella BGA-piiri kohdistetaan ja asetetaan paikoilleen. Piirin kohdistus tehdään kameran ja prisman avulla. Toisessa yksikössä suoritetaan piirin juottaminen piirilevyyn. Se koostuu lämmitysyksiköistä, jotka lämmittävät piiriä ja piirilevyä, ylä- ja alapuolelta. Lämmitys tapahtuu puhaltamalla jopa $+400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmaa piirin päälle tulevan suuttimen kautta. Asemaa ohjataan tietokoneella, jolla voidaan luoda erilaisia lämpötilaprofiileja.

4.3 Lämpötilaprofiili

Profiloinnin päämääränä on toimia turvallisella lämpötila-alueella, jonka minimiä kontrolloidaan kunnollisen juotoksen varalta ja maksimia ylikuumenemisen välttämiseksi. Käytännössä ihanteellista profiilia ei voida saavuttaa, koska piirilevyt koostuvat yleensä niin monista komponenteista. Siksi lämpötilaprofiili tulisi esittää lämpötilakaistana (toleranssirajat), jonka sisällä kaikkien liitosten tulisi pysyä. Lämpötilaprofiilia kuvataan periaatteessa kolmella tekijällä: huippulämpötila, lämpötilan muutoksen maksiminopeus ja tinan sula-aika. Elektroniikassa käytetään yleensä eutektisia tina/lyijyjuotteita, joiden sulamispiste on noin $183 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilaprofiili koostuu viime kädessä siis seuraavista vaiheista:

- nopeasta kuumennuksesta yli 100 °C, mutta kuumennuksen täytyy olla <2 °C/sekunti
- pidosta esikuumennuslämpötilassa 120 - 160 °C, pitoaika kuitenkin 1 - 3 minuuttia ja maksimissaan 5 minuuttia
- nopeasta kuumennuksesta huippulämpötilaan 200 - 235 °C, jolloin juotteen tulee olla noin 60 sekuntia 183 °C:n yläpuolella
- jäähdytysvaiheesta.

4.3.1 Esilämmitysvaihe

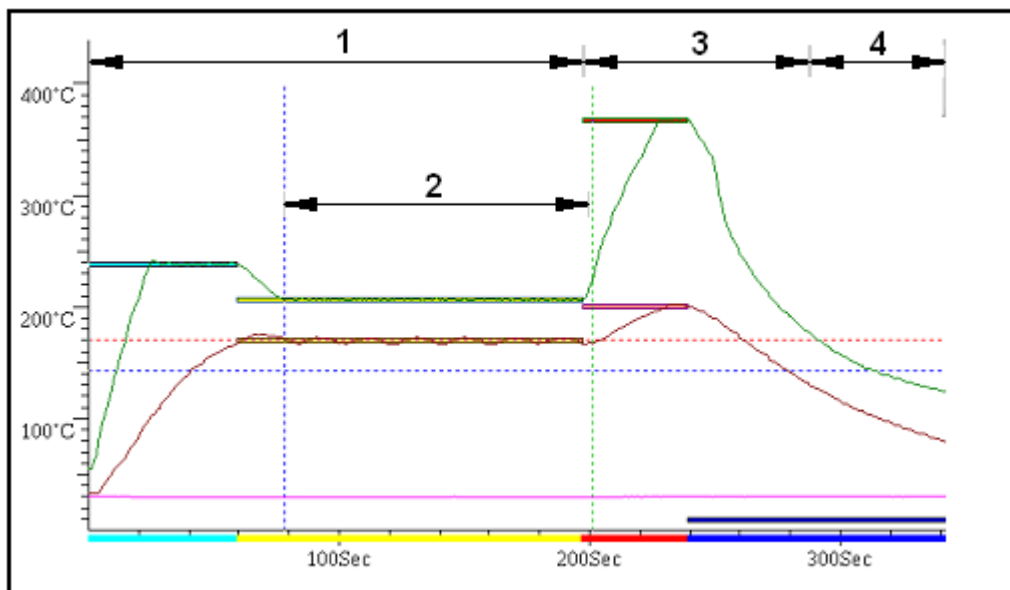
Esilämmitys alkaa nopealla lämpötilan nostolla, joka tapahtuu uunin ensimmäisessä kuumassa lohossa. Seuraavat kuumat lohkot on ohjelmoitu tasaiseen lämpötilaan, ja niiden tarkoituksena on esilämmittää piirilevy kokonaan ja nostaa sen lämpötila 120 - 160 °C:seen. Lämpötilan tasaisen nousun nopeus on erittäin tärkeä, ja sen tulisi olla alhaisempi kuin 2 °C/sekunti. Tällä tavalla piirilevyyn ja sillä sijaitseviin komponentteihin kohdistuva lämpöshokki olisi mahdollisimman pieni. Esilämmityksen tehtävänä on siis lämmittää piirilevy ja komponentit hallitusti tiettyyn lämpötilaan sekä tasata mahdolliset lämpötilaerot.

4.3.2 Reflow-vaihe

Reflow-vaiheessa lämpötila nousee hetkellisesti huippuunsa eli 210 - 235 °C:seen. Tämä kestää noin minuutin, ja tässä vaiheessa juote muuttuu sulaan olomuotoon. Juotteen reflow alkaa, kun pasta joutuu lämpötilaan, joka ylittää juotteen sulamispisteen. Sulamispiste riippuu pastan koostumuksesta ja on yleensä lyijyllisiä pastoja käytettäessä 179 - 183 °C. Tämä lämpötila tulisi ylittää vähintään 20 asteella, jotta reflow olisi laadukasta. Aikaa, jolloin juotosliitos on tinan sulamispisteen yläpuolella, kutsutaan juotteen sula-ajaksi. Useimmilla pastoilla tämä aika on 30 - 60 sekuntia. Liian pitkä sula-aika johtaa siihen, että liitoksissa voi esiintyä välimetalliyhdisteitä ja tämä voi johtaa hauraisiin liitoksiin.

4.3.3 Jäähdytysvaihe

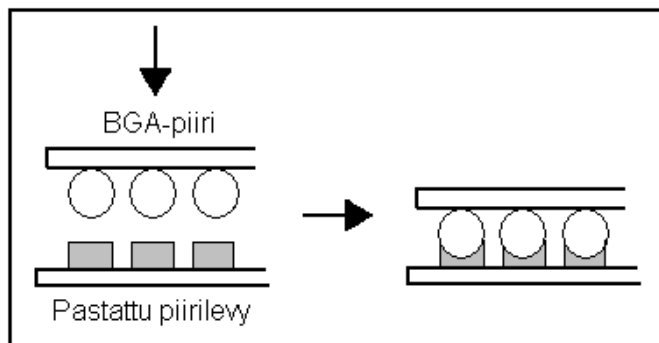
Viimeinen vaihe on jäähdytys, jolloin piirilevy jäähdytetään hitaasti sopivaan lämpötilaan. Jäähdytyksen alkupuoli on erittäin kriittinen, sillä juotteen mekaaninen kesto on heikko 150 °C:n yläpuolella. Tässä vaiheessa tulee varoa lämpötilan äkillisiä muutoksia, kuten vetoa tms. Lopullisen jäähdytyksen tarkoituksena on vähentää liitosten mahdollista hapettumista ja helpottaa piirilevyn käsittelyä. Kuvassa 10 on esitetty lämpöprofiilin eri vaiheet.



Kuva 10. Esimerkki profiilin eri vaihteista. 1; esilämmitys, 2; pitovaihe, 3; reflow-vaihe ja 4; jäähdytys

5 TUTKIMUS

Työn tarkoituksen oli tutkia BGA-piirien uudelleen pallotusta ja pyrkiä saamaan tarpeeksi luotettavia tuloksia, että pallotusmenetelmää voitaisiin soveltaa Incap Oyj:n käyttämissä Motorolan BGA-piireissä. Incap Oyj liittää piirinsä piirilevyille pastan kanssa, eli piirilevyn padeille levitetään stensiilillä pastakakut ja tämän jälkeen BGA-piirit ladotaan piirilevyille (kuva 11). Kuvassa 12 on esitetty työssä käytetyt komponentit.



Kuva 11. Piirilevyllä on painettu stensiilillä pastakakut ja BGA-piiri ladotaan paikoilleen.



Kuva 12. Työssä käytetyt piirit. Vasemmalla Toplinen harjoituspiiri ja oikealla Incap Oyj:n käyttämä Motorolan BGA-piiri.

5.1 Työssä käytetyt menetelmät ja välineet

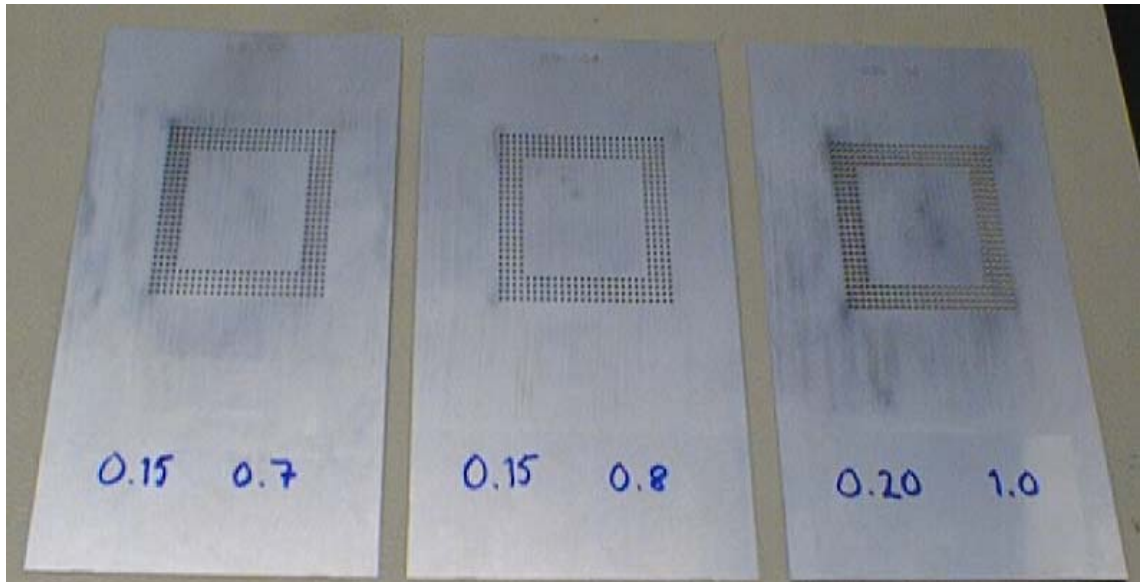
Työn suorittamisessa tarvittiin seuraavia välineitä:

- 24 kpl Topline BGA352T1.27-DC70 -piirejä
- 12 kpl Topline BGA Universal Placement -piirilevyjä
- 3 kpl ministensiilejä, joiden koot (reikäkoko/paksuus) 1,0 mm/0,2 mm; 0,8 mm/ 0,15 mm ja 0,7 mm/0,15 mm
- FluxPlus no clean paste-fluksia ja KOKI Solder Paste SS48-M955-pastaa
- pastanpainovälineet ja mikrometri
- Incap Oyj:n käyttämiä Motorolan BGA-piirejä
- Phoenix|x-ray-röntgen
- Metcal BGA-korjausasema, johon liitettynä mikrotietokone
- juotoskolvi ja erilaisia juotoskärkiä
- yksi- ja kaksipuolista teippiä
- alkoholia välineiden puhdistukseen.

Työssä käytettiin Toplinen BGA-piirejä, jotka olivat ”dummy”-komponentteja, eli niiden sisällä ei ollut elektroniikkaa, vaan komponentit sisälsivät ainoastaan koteloinnin ja valmiit pastapallot padeilla. Piirien pohjassa oli padeja yhteensä 352 kappaletta, ja piirin mitat olivat 35 mm x 35 mm. Padit muodostivat piirin pohjaan nelirivisen matriisin ja niiden pitch, eli padien etäisyys toisiinsa mitattuna padien keskipisteestä, oli 1,27 mm. Piirin tarkemmat spesifikaatiot ovat liitteessä A. Työssä käytettiin myös Motorolan BGA-piirejä, joiden spesifikaatiot löytyvät liitteestä B. Piirien pohjassa oli 480 padia, ja niiden pitch oli 1,27 mm.

Piirit juotettiin Topline BGA Universal Placement -piirilevyille. Yhdelle piirilevyille voitiin juottaa maksimissaan neljä BGA-piiriä. Piirilevyissä oli kaksi erilaista puolta. Toinen puoli sisälsi soldermask defined -padit ja toinen etched defined -padit. Piirit juotettiin aina samalle soldermask defined -puolelle. Piirillä sijaitsevien padien pitch oli sama kuin piirienkin, eli 1,27 mm.

Piirien uudelleen pallotuksessa ja piirilevyjen pastauksessa käytettiin kolmea erilaista ministsensiiliä. Näiden stensiilien ulkomitat olivat 60 mm x 100 mm. Stensiilien paksuudet ja stensiiliaukkojen koot näkyvät kuvassa 13.



Kuva 13. Stensiilien paksuudet ja reikien koot millimetreinä

Piirien ja piirilevyjen puhdistukseen käytettiin fluksia, jota levitettiin padeille fluksikynällä. Tämän jälkeen tina poistettiin juotoskolvilla (kuva 14).



Kuva 14. Fluksia levitetään padeille ja padit puhdistetaan juotoskolvilla.

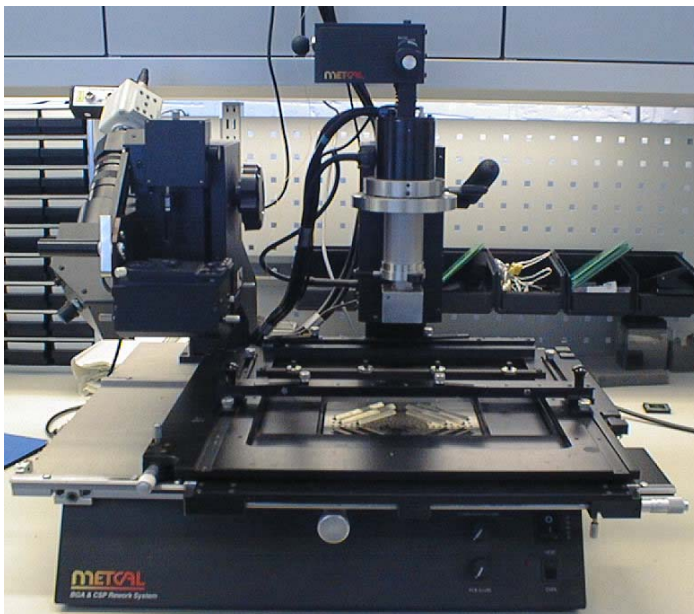
Piirien uudelleen pallotuksessa käytettiin KOKI Solder Paste SS48-M955 -pastaa, jonka koostumus oli Sn62Pb36Ag2. Pastassa oli siis tinaa 62 %, lyijyä 36 % ja hopeaa 2 %. Pastan spesifikaatiot näkyvät liitteessä E. Pastaksi valittiin hopeaa sisältävä pasta, sillä hopea alentaa pastan sulamispisteen 179 °C:seen

ja samalla vahvistaa liitoksia. Pasta painettiin piireille ja piirilevyille kuvan 15 esittämällä välineillä.



Kuva 15. Pastanpainovälineet. Alimmaisena jigi ja sen päälle stensiili. Oikealla itse tehty ”raakkeli” ja ylhäällä BGA-piiri.

BGA-piirien juottamiseen käytettiin Metcal BGA-korjausasemaa (kuva 16). Korjausasemaa ohjattiin mikrotietokoneella, johon oli asennettu korjausaseman kontrollointiohjelma.



Kuva 16. Metcal BGA-korjausasema

Juotosliitosten onnistumista tutkittiin Phoenix|x-ray-röntgenillä (kuva 17). Röntgenillä voitiin tutkia liitoksissa esiintyviä vikoja, joita olivat mm. kaasukuplat (voidit) liitosten sisällä ja erilaiset oikosulut / pastanjäänteet.



Kuva 17. Phoenix|x-ray -röntgenlaite

Röntgenin toimintaperiaate: Röntgenputki on kaksielektroдинen tyhjiöputki eli diodi. Siinä on negatiivisesti varautunut katodi (K) ja positiivisesti varautunut anodi (A). Anodin ja katodin välinen jännite on useimmiten joitakin kymmeniä tai satoja kilovoltteja. Hehkuvasta katodista irtoaa elektroneja, jotka suuri sähkökenttä kiihdyttää suureen nopeuteen. Elektronin törmätessä anodiin sen liike hidastuu, jolloin ne synnyttävät sähkömagneettista säteilyä eli jarrutussäteilyä. Elektronin törmäys anodiin aiheuttaa anodimateriaalin elektronien siirtymistä uusiin tiloihin (virittyvät). Virittyneet elektronit palaavat pian alkuperäisiin tiloihinsa, ja niihin varastoitunut energia säteilee ominaissäteilynä (karakteristisena säteilynä). Syntyy kahdenlaista röntgensäteilyä:

1. Jarrutussäteilyllä on jatkuva spektri. Se tarkoittaa, että siinä esiintyy kaikkia aallonpituuksia tietyissä rajoissa.

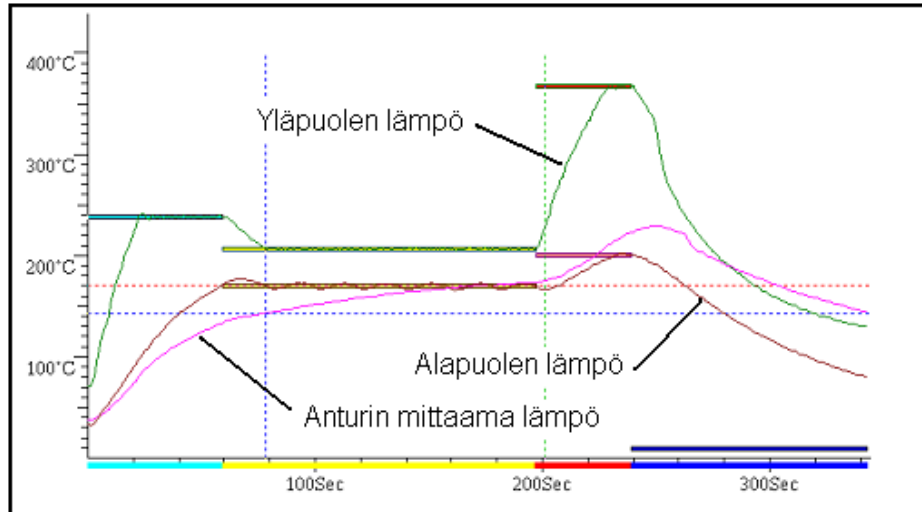
2. Karakterista säteilyä, jolla on vain tiettyjä aallonpituuksia, jotka riippuvat anodimateriaalista. Elektroneilla on vain muutamia mahdollisuuksia siirtyä tilasta toiseen. Siksi voi syntyä vain niitä vastaavia aallonpituuksia.

Röntgenillä voidaan siis tutkia aineiden kiderakennetta tutkimalla heijastuneen tai läpimenneen säteilyn spektriä ja sen taittumista. Anodimateriaalia voidaan analysoida, koska jokaisella alkuaineella on erilainen elektronirakenne ja siksi myös erilainen karakteristinen säteilyspektri.

Lisäksi työssä käytettiin erilaisia teippejä stensiilien kiinnittämiseen, piirien jigiin kiinnittämiseen ja BGA-piirien kiinnittämiseen eri alustoihin. Eri pintojen puhdistamiseen käytettiin alkoholia.

5.2 Tutkimus Topline BGA352T1.27-DC70 - piireillä

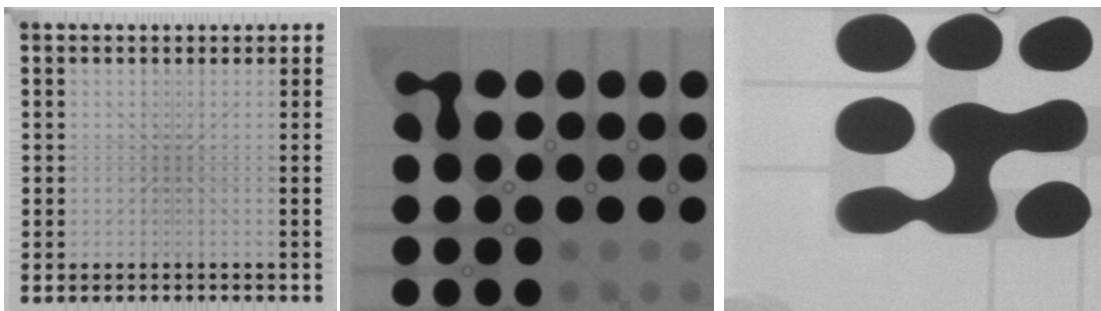
Työ aloitettiin luomalla korjausasemalle juotosprofiili BGA-piirejä varten. Tämä tapahtui mikrotietokoneelle asennetussa ohjelmassa jolla, ohjataan korjaus-asemaa. Ohjelma avattiin kaksoisklikkaamalla työpöydällä sijaitsevaa "BGA.exe"-kuvaketta. Juottamista varten luotiin kuvan 18 mukainen profiili. Profiilia voitiin muokata tarttumalla hiiren osoittimella profiiliin palkkeihin. Palkkeja pidentämällä voitiin muuttaa eri vaiheiden kestoja, ja liikuttamalla palkkeja ylös tai alas saatiin muutettua vaiheiden lämpötiloja. Kuvan profiilissa näkyy kolme eri lämpöprofiilia. Näistä ylä- ja alapuolen lämpökäyrät näyttivät puhallettavan ilman lämpötilat. Kolmas käyrä näytti piirin ja piirilevyn väliin asetetun anturin mittaaman lämpötilan. Tämä lämpötila oli se, joka todellisuudessa kohdistui BGA-piiriin. Profiilin muokkaus suoritettiin anturin mittaaman profiilin mukaan.



Kuva 18. Juotosprofiili Topline BGA-piireille

Luodulla profiililla juotettiin 24 kappaletta Topline BGA-piirejä piirilevyille. Koska piirit olivat jo valmiiksi tehtaan pallottamia, juottamisessa käytettiin pelkästään fluksia. Fluksia levitettiin ohut kerros piirilevyn padeille, ja tämän jälkeen BGA-piirit aseteltiin paikoilleen korjausaseman avulla. Piirit kohdistettiin korjausaseman kameranäköä apuna käyttäen. Yläpuolen lämmön johtamiseen käytettiin 38 mm x 38 mm:n suutinta.

Juottamisen jälkeen joutosliitokset tutkittiin röntgenillä. Röntgen käynnistettiin kääntämällä etupaneelissa sijaitseva avain ON-asentoon. Röntgenin annettiin lämmetä, ja kun se oli valmis käyttöön, tutkittiin juotetut piirit. Röntgenin asetukset olivat jännite 60 kV ja virta 40 μ A. Voidien tarkastelu tehtiin eri asetuksilla, jolloin jännite säädettiin 85 kV:iin ja virta 5 μ A:iin. Asettamalla etupaneelin kytkin GAIN MANUAL-asentoon voitiin röntgenin terävyyttä säätää manuaalisesti. Tällä säädöllä saatiin näkyviin juotoksissa mahdollisesti esiintyvät vikat. Röntgenillä tutkittiin juotoksista löytyviä vikoja. Kaikista 24:stä piiristä löydettiin pelkästään kaksi virhettä ja loput olivat juottuneet täydellisesti. Kuvassa 19 yleisimmät virheet ja täysin onnistunut juotos.



Kuva 19. Vasemmalla onnistunut juotos, keskellä ja oikealla oikosulku

Röntgentutkimusten jälkeen mitattiin mikrometrillä juotettujen piirien korkeudet piirilevy mukaan lukien. Tämän tarkoituksena oli selvittää, millaiseen tulokseen uudelleen pallotuksessa tulisi päästä. Mittauksen jälkeen BGA-piirit irrotettiin piirilevyistä. Piirien irrottamiseen käytettiin samaa profiilia kuin juottamiseenkin. Irrotus tapahtui samalla suuttimella kuin juottaminenkin. Irrotuksessa kytkettiin päälle korjausaseman pumppu, joka on yhteydessä piirin päälle tulevaan imukuppiin. Imukuppi asetettiin piirin päälle niin, että se tarttui piirilevyn pintaan. Imukupilla piiri saatiin nostettua kuumennuksen lopussa irti piirilevystä.

Irrottamisen jälkeen piirilevyt ja piirit puhdistettiin. Puhdistus suoritettiin juotoskolvilla, johon oli asennettu leveä kärki. Piireille ja piirilevyille levitettiin ohut kerros fluksia, ja tämän jälkeen tina poistettiin kolvilla (kuva 14). Kun tina oli saatu poistettua, piirit ja levyt puhdistettiin alkoholilla. Puhdistuksessa tuli saada kaikki fluksin jäämät pois eri pinnoilta, sillä jäämät voivat aiheuttaa oikosulkuja piirien uudelleen pallotuksen yhteydessä.

Seuraavaksi tilattiin ministensiilit piirien uudelleen pallotusta varten. Stensiilien tilaus tehtiin sähköpostin välityksellä (liite C) ja tilauksesta saatiin tilausvahvistus, jossa näkyi stensiilin mitat (liite D). Stensiilin mitoitus tehtiin samalla tavalla kuin on esitetty kappaleessa 4.1 *Stensiilin mitoittaminen*. Laskelmien mukaan tilattiin stensiili, jonka reikäkoko oli 1,0 mm ja paksuus 0,20 mm. Lisäksi tilattiin kaksi pienempää stensiiliä lähinnä piirilevyn pastausta varten (kuva 12). Samalla tutkittiin eri vaihtoehtoja piirien pallotuksessa. Pienemmillä stensiileillä saatiin luotua pienemmät pallot piirien pohjaan ja niitä voitiin käyttää piirilevyjen pastaukseen.

Stensiilien saavuttua voitiin aloittaa BGA-piirien uudelleen pallotus. Pallotusta varten valmistettiin kaksipuolisesta piirilevystä jigipiirejä varten (kuva 15). Piirilevyyn tehtiin piirin ulkomittojen kokoinen neliskulmainen reikä. Reiän toiselle puolelle liimattiin koko reiän peittävä teippi, näin piiri pysyi paikoillaan jigissä ja pastauksesta tuli tarkempaa. Stensiili kohdistettiin piirin päälle silmämääräisesti, ja se kiinnitettiin jigisiin teipillä. Pasta painettiin itse tehdyllä ”raakkelilla”. Ennen pastan painoa tuli varmistaa, että stensiilin reiät olivat puhtaat. Pastaa laitettiin stensiilille ja se vedettiin aukkoihin yhdellä rauhallisella vedolla. Pasta oli hyvä saada aukkoihin yhdellä vedolla, sillä kun jouduttiin vetämään useampia kertoja, huomattiin että pasta rupesi leviämään stensiilin alla. Tämä johti huonoon pastaukseen ja välineiden puhdistukseen. Pastanpainon jälkeen stensiiliä pitävät teipit poistettiin varovasti ja stensiili nostettiin mahdollisimman nopeasti ja suoraan ylöspäin pois piirin päältä. Tämä siksi, että pallotuksen yhteydessä havaittiin kierojen pastakakkujen aiheuttavan enemmän oikosulkuja pallotusprosessin aikana. Oikosulkuja syntyi myös jos piirejä ei oltu puhdistettu tarpeeksi hyvin alkoholilla tinan poistamisen jälkeen. Tällöin piirin padien välille saattoi jäädä kuivia fluksin jäänteitä, ja tämä aiheutti juotosten liittymistä yhteen.

Pastauksen jälkeen piirit asetettiin uudelleen korjausasemaan. Alustaksi asetettiin piirilevy ja piirit laitettiin yksitellen piirilevylle. Korjausaseman suutin kohdistettiin piirin päälle ja ajettiin mikrotietokoneelta aiemmin luotu profiili. Profiilin aikana uudet pastakakut sulivat ja muodostivat piirin padeille uudet kontaktipallot. Piirejä pastattiin eri stensiileillä ja uusien pallojen kokoa ja näköä verrattiin tehtaan pallottamiin piireihin. Tultiin siihen johtopäätökseen, että kahdella isoimmalla stensiilillä pallotetuissa piireissä pallojen koot rupesivat olemaan riittävän suuria.

Seuraavaksi pallotettiin kaksi pientä sarjaa BGA-piirejä. Toinen sarja pallotettiin käyttämällä suurinta stensiiliä, jonka paksuus oli 0,20 mm ja reikäkoko 1,0 mm. Toinen sarja pallotettiin toiseksi suurimmalla stensiilillä, jonka paksuus oli 0,15 mm ja reikäkoko 0,8 mm. Pallotuksen jälkeen piirit juotettiin takaisin kiinni piirilevyihin. Nyt tutkittiin eri liitântämenetelmien aiheuttamia eroja. Tästä syystä piirit kiinnitettiin levyihin kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa oli pastata

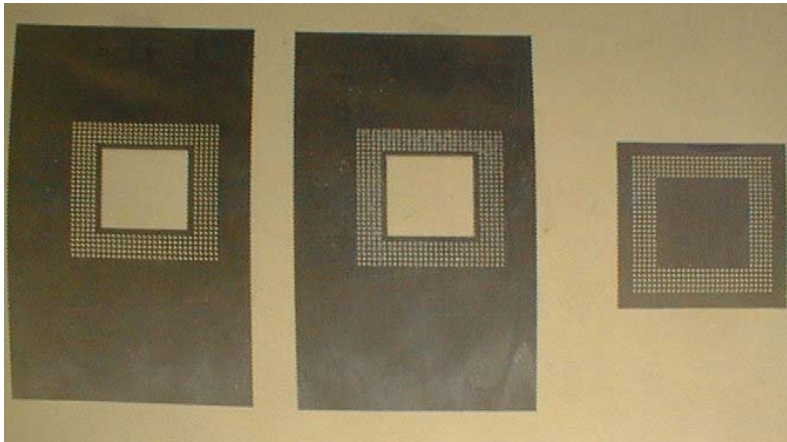
piirilevy suurimmalla stensiilillä ja asettaa uudelleen pallotettu piiri pastakakkujen päälle. Toinen tapa oli pastata piirilevyt toiseksi suurimmalla stensiilillä ja asettaa pallotettu piiri pastakakkujen päälle. Kolmas tapa oli pelkästään fluksata piirilevyn padit ja asettaa piirit fluksin päälle. Tällä tavalla saatiin kahdessa ensimmäisessä tapauksessa tutkittua miten pastan lisääminen onnistuu juotosvaiheessa. Pelkällä fluksauksella liitettyjen piirien kohdalla tutkittiin pelkän fluksauksen riittävyttä. Tehtaan pallottamat piirithän juotettiin pelkästään fluksia käyttämällä, joten näin saadaan selville uudelleen pallotettujen ja tehtaan pallottamien piirien eroja.

5.3 Tutkimus Incap Oyj:n Motorolan BGA-piirillä

Toplinen piirille tehtyjen tutkimusten jälkeen aloitettiin saatujen tulosten soveltaminen Incap Oyj:n käyttämälle Motorolan BGA-piirille. Tavoitteena oli siis saada luotua uudet kontaktit piirien pohjaan. Kaikki käytössä olleet Motorolan piirit olivat kertaalleen piirilevyistä irrotettuja, joten niissä ei ollut enää vanhoja pallotuksia. Työ aloitettiin puhdistamalla piirien padit vanhoista tinan jäänteistä. Puhdistus suoritettiin samalla tavalla kuten Toplinen piirienkin yhteydessä. Tinan jäänteet poistettiin fluksin ja juotoskolvin avulla.

Seuraavaksi tilattiin tarvittavat stensiilit Motorolan BGA-piiriä varten. Motorolan piiri oli tässä suhteessa erilainen kuin Toplinen piiri. Motorolan piirissä itse piisiru oli asetettu samalle pinnalle komponentin padien kanssa, eli piisiru jäi juoton yhteydessä piirin alle. Piisiru oli suojattu kotelointiaineella, ja tämä aiheutti sen, että stensiilien mitoituksessa tuli ottaa huomioon piisirun koteloinnista syntynyt kohouma piirin alla. Stensiilin keskelle jätettiinkin kohouman kokoinen aukko. Lisäksi aukko jätettiin joka puolelta noin 0,5 mm leveämmäksi kuin kohouma, ja näin stensiiliin saatiin hieman kohdistusvaraa. Aikaisemmissa tutkimuksissa havaittiin, että lähimmäksi tehtaan valmiiksi pallottamien piirien tuloksia päästiin stensiilillä, jonka mitat olivat; paksuus 0,2 mm ja aukkokoko 1,0 mm. Tästä johtuen Motorolan piiriä varten tilattiin kaksi pallotusstensiiliä ja yksi piirilevyn pastausstensiili. Piirin pallotukseen tilattujen stensiilien mitat olivat seuraavat: paksuus 0,2 mm sekä aukkokoot 1,0 mm ja

0,8 mm. Piirilevyn pastaukseen tilatun stensiilin mitat olivat: paksuus 0,15 mm ja aukkokoko 0,8 mm. Stensiilien tilaus on liitteenä F ja tilausvahvistus liitteenä G. Valmiit stensiilit kuvassa 20.



Kuva 20. Valmiit stensiilit Motorolan piiriä varten

Motorolan piireille pyrittiin tekemään samat tutkimukset kuin Toplinen BGA-piireillekin. Työtä suorittaessa kuitenkin havaittiin, että näiden piirien pallottaminen on huomattavasti vaikeampaa kuin Toplinen piirien. Tämä johtui siitä, että pallotusta varten ei ollut saatavilla vastaavanlaista jigii kuin Toplinen piirien kanssa. Lisäksi stensiilit olivat huomattavasti taipuisammat. Tämä johtui siitä, että piirin koteloinnista johtuen stensiilien keskellä piti jättää isompi aukko. Tämä aukko aiheutti stensiilien taipuisuuden ja se hankaloitti pastanpainoa. Pastanpainossa tapahtui helposti ns. ”pumppausliikettä”, kun taipuisa stensiili irtosi joka painamiskerta piirin pinnasta. Tämä taas aiheutti pastan leviämisen piirin ja stensiilin väliin. Jigin puuttuminen aiheutti sen, että piirit piti kiinnittää suoraan teipillä stensiiliin. Ainoa tapa irrottaa piirit stensiileistä oli leikata teippi poikki mattoveitsen terällä. Tämä taas aiheutti piirin liikkumista ja pastakakkujen leviämistä, liikkumista ja kieroja pastakakkuja. Uudelleen pallotus onnistui ainoastaan satunnaisesti.

Piirien juottumisen tutkimista varten saatiin Incap:ltä neljä kappaletta alkuperäisiä piirilevyjä. Onnistuneesti uudelleen pallotetut BGA-piirit juotettiin piirilevyille ja ne tarkastettiin röntgenillä. Jo silmin tehty tarkastelu paljasti, että kaikki kontaktit eivät olleet laadukkaita, ja kontakti saattoi jäädä liian pieneksi. Tämä johtui siitä, että BGA-piirille oli jäänyt liian vähän pastaa, ja uudesta

juotenystystä oli muodostunut liian pieni. Uudelleen pallotetut piirit on syytä tarkastaa ennen piirilevylle asettamista, sillä kaikista juotenystyistä ei välttämättä muodostunut riittävän suuria. Varsinkin piirin kulmissa sijaitsevat kontaktit saattavat jäädä pienemmiksi kuin muut.

TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tässä osassa on esitetty työn suorittamisen yhteydessä tehtyjen mittausten tulokset ja niiden pohjalta tehdyt päätelmät.

5.4 Topline BGA352T1.27-DC70

Taulukossa 5 on esitetty mittaustulokset tilanteesta, kun 24 kappaletta Toplinen BGA-piirejä on juotettu kiinni piirilevyille. Tuloksista nähdään, että tehtaan pallottamien piirien korkeudeksi, piirilevy mukaan lukien, tuli 3,79 mm. Tämä oli siis korkeus, johon uudelleen pallotettujen piirien kanssa tulisi pyrkiä.

Taulukko 5. Tehtaan pallottamien piirien korkeus juotoksen jälkeen

	Korkeus (mm)		Korkeus (mm)		Korkeus (mm)
Levy 1.	3,79	Levy 2.	3,81	Levy 3.	3,78
	3,79		3,81		3,80
	3,82		3,81		3,81
	3,82		3,81		3,78
Keskiarvo	3,81		3,81		3,79
Levy 4.	3,80	Levy 5.	3,73	Levy 6.	3,83
	3,83		3,78		3,79
	3,81		3,65		3,77
	3,82		3,71		3,80
Keskiarvo	3,82		3,72		3,80

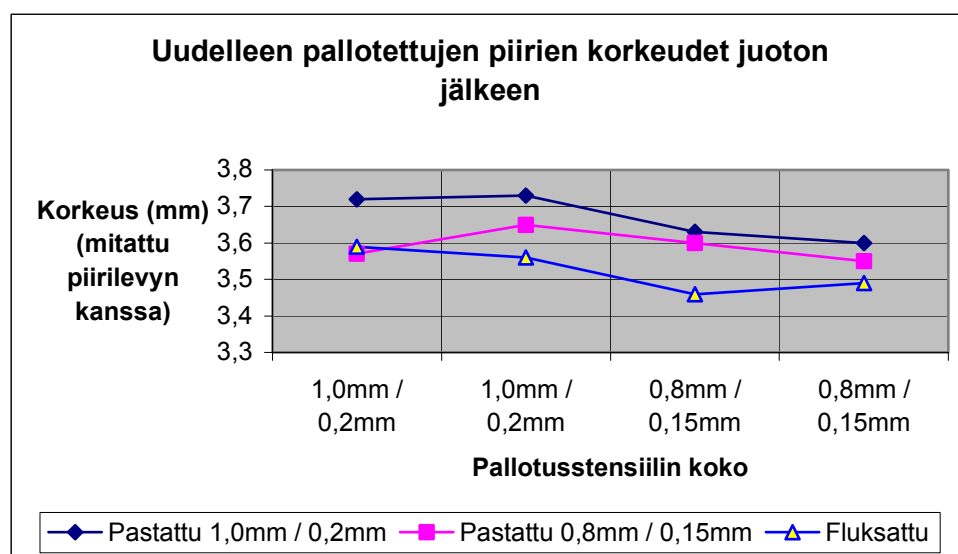
Kaikkien ka.	3,79	mm
-----------------	------	----

Seuraavassa on esitetty uudelleen pallotettujen piirien mittaustulokset. Taulukosta 6 selviää, että käytettäessä pelkkää fluksausta korkeusero oli huomattava verrattuna tehtaan pallottamiin piireihin. Silmämääräisestikin tutkittuna piirin ja piirilevyn väliin jäävä väli oli huomattavasti pienempi kuin tehtaan pallottamisissa. Piirit näyttivät olevan melkein kiinni piirilevyissä, joten voitiin todeta, että pelkkä fluksaus ei riittänyt tuottamaan haluttua tulosta.

Taulukko 6. Eri stensiileillä uudelleen pallotettujen BGA-piirien korkeudet juotoksen jälkeen.

Pallotusstensiilin koko	Pastattu 1,0 mm / 0,2 mm	Pastattu 0,8 mm / 0,15 mm	Fluksattu
1,0 mm / 0,2 mm	3,72	3,57	3,59
1,0 mm / 0,2 mm	3,73	3,65	3,56
Keskiarvo (mm)	3,725	3,610	3,575
0,8 mm / 0,15 mm	3,63	3,60	3,46
0,8 mm / 0,15 mm	3,60	3,55	3,49
Keskiarvo (mm)	3,615	3,575	3,475

Tutkittaessa pastauksen kanssa liitettyjä piirejä havaittiin, että tulokset ovat huomattavasti parempia ja lähestyvät tehtaan pallottamia piirejä. Erot näkyvät parhaiten kuvan 21 kuvaajista. Niistä nähdään, että suurimmalla stensiilillä pallotettujen ja pastattujen piirilevyjen väliin jäi huomattavasti suuremmat välit kuin pelkällä fluksilla. Kuvaajat osoittavat myös selvästi eri stensiileillä pallotettujen ja eri pastamäärillä liitettyjen piirien erot toisiinsa. Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että lähimmäksi uusien piirien tuloksia päästiin pallottamalla piirit stensiilillä, jonka paksuus oli 0,2 mm ja reikäkoko 1,0 mm, ja jotka liitettiin piirilevyyn pastaamalla. Tällöin päästiin keskimäärin 3,72 mm. Kun tätä verrataan uusien piirien tuloksiin, jotka olivat 3,79 mm, voidaan sanoa, että tulokset ovat riittävän hyviä.



Kuva 21. Kuvaajat eri pallotustilanteista

Kun uudelleen pallotetut piirit liitettiin piirilevyihin, niiden liitokset tutkittiin myös röntgenillä. Röntgenillä havaittiin, että uusien liitosten sisään jäi aivan liikaa kaasuja ja niistä muodostuvia voideja. Näitä voideja saatiin kuitenkin vähennettyä muuttamalla korjausaseman lämpöprofiilia. Aiemmin esitetty profiili (kuva 18) on juuri tämä muutettu profiili, ja sitä käytettiin koko työn suorituksen ajan.

5.5 Motorolan BGA-piiri

Motorolan piirin tutkimukset osoittautuivat vaikeammiksi kuin Toplinen. Tutkittaessa uudelleen pallotettujen piirien muodostamia kontakteja piirilevyihin havaittiin, että kontakteissa oli huomattavan paljon voideja. Muutenkin kontaktit jäivät hieman huonommiksi. Näytti siltä kuin uusissa kontakteissa ei olisi tarpeeksi juotetta ja näin ollen kontaktit jäivät melko kapeiksi. Kapeat kontaktit johtuvat komponentin rakenteesta. Motorolan piirin kotelointi on sellainen, että komponentti jää herkästi makaamaan piirilevylle koteloinnin varaan, eli piiri ei saa vapaasti painautua niin alas kuin se menisi. Voideista saatetaan kuitenkin päästä eroon muuttamalla lämpöprofiilia paremmin Motorolan piirille sopivaksi. Myös juotteen määrän kasvattaminen parantaisi kontaktien laatua. Voidien määrää pienentäisi myös se jos uudelleen pallotetut piirit voitaisiin laittaa kiinni piirilevyille ilman piirilevyn pastausta. Lopuksi voidaan todeta, että Motorolan piirienkin pallotus onnistuu, mutta kontaktien laatu ei ole niin hyvää kuin mihin päästiin Toplinen harjoituspiireillä. Jatkotutkimus näiden asioiden suhteen ei olisi pahitteeksi ja muutenkin kyseisen prosessin kehittämiseen olisi hyvät perusteet.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli tutkia (Ball Grid Array) BGA-piirin uudelleen pallottamista. Työssä käytettiin Toplinen BGA352T1.27-DC70 -harjoituspiiriä ja sen kanssa saatuja tuloksia pyrittiin soveltamaan Incap Oyj:n käyttämään Motorolan BGA-piiriin. Tutkimuksia varten rakennettiin ja tilattiin tarpeelliset välineet, kuten esimerkiksi ministsensit ja pallotuspasta. Pallotuksessa käytettiin hyväksi Metcal BGA-korjausasemaa ja muita Kajaanin ammatti-korkeakoulun tarjoamia välineitä.

Toplinen BGA-piirien kohdalla uudelleen pallottaminen onnistui hyvin. Tutkimuksissa päästiin lähes samalle tasolle, kuin mitä päästään täysin uusien BGA-piirien kanssa. Piireille saatiin luotua tarpeeksi kookkaat, uudet kontaktinystyt ja niiden liittäminen piireileville onnistui hyvin. Röntgen-tutkimusten ja korjausaseman lämpöprofiilin muokkaamisen avulla saatiin uudelleen pallotettujen piirien kontaktien sisältämät kaasukuplat (voidit) hyväksyttävälle tasolle. Kaasukuplista saatiin tarpeeksi pieniä, ja niitä ei ollut liikaa kontaktien sisällä.

Motorolan BGA-piirien uudelleen pallottaminen taas osoittautui huomattavasti vaikeammaksi. Kontakteihin jäi huomattavan paljon voideja ja kontaktit jäivät muutenkin hieman heikoiksi. Lämpöprofiilin muokkaus saattaa auttaa voidien määrän pienentämisessä. Voidaan kuitenkin todeta, että Motorolankin piirien pallottaminen onnistuu, mutta prosessi vaatii hieman hiomista. Lisäksi jonkinlaisen toimivan pastanpainokoneen kehittäminen voisi tulla kyseeseen. Tällä tavoin prosessista saataisiin nopeampi ja luotettavampi.

LÄHDELUETTELO

- 1 ELEN Elektroniikka- ja sähköalan ennakointi, raportti 31.3.1999 versio 7. [WWW-dokumentti]
<<http://www.mol.fi/esf/ennakointi/raportit/elen.pdf>> (Luettu 19.12.2002)
- 2 Särkkä, J. Pennanen, V. Uusien komponenttien liitosluotettavuuden hallinta. Nokia Networks. Moniste.
- 3 Särkkä, J. Pennanen, V. Juotosprosessin vaikutus muovi- ja keraaminystymatriisikoteloiden luotettavuuteen. Nokia Networks. Moniste.
- 4 Nurmi, S. Ristolainen, E. Voidit lyijyttömissä PBGA-juotosliitoksissa (sivut 141 - 146). Julkaisusarja A- Porin korkeakouluyksikkö, Nro A39/2002 ISSN1455-9676, ISBN 952-9607-46-6.
- 5 Meriläinen, V. Wahlman, T. Flip chip- ja μ BGA –komponenttien liitosten luotettavuus (sivut 13 - 17). Julkaisusarja A- Porin korkeakouluyksikkö, Nro A32/2001, ISSN 1455-9676, ISBN 952-9607-37-7.
- 6 Kajaanin ammattikorkeakoulun opintomateriaali.
- 7 Kajaanin ammattikorkeakoulun opintomateriaali, tuotantotekniikan laboratorion laboraatio-ohje. Lämpöprofiilin mittaus, laatinut Määttä, T. Selesniemi, V-M. Moniste.

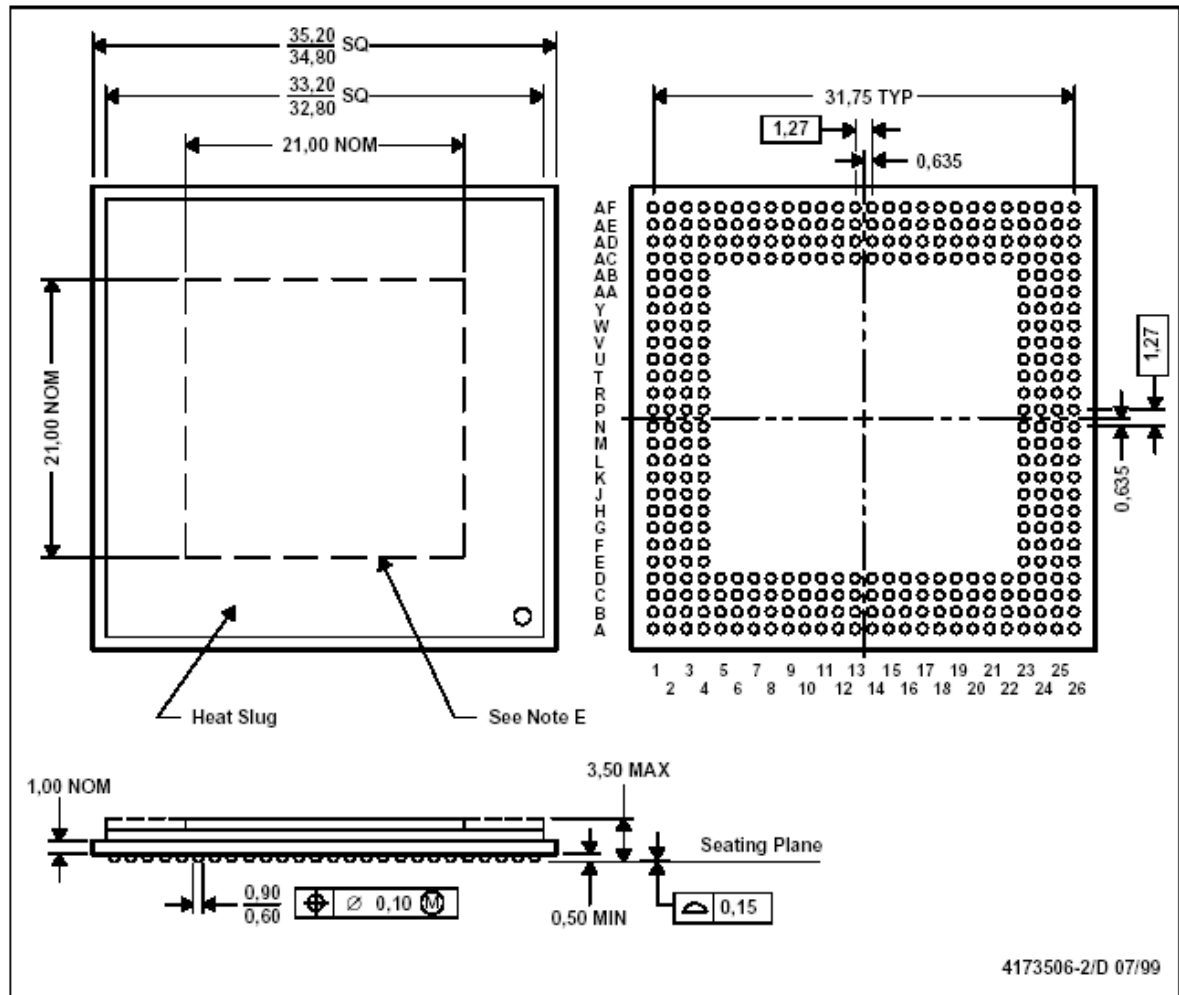
TMS320C6201 FIXED-POINT DIGITAL SIGNAL PROCESSOR

SPRS051G – JANUARY 1997 – REVISED NOVEMBER 2000

MECHANICAL DATA

GJC (S-PBGA-N352)

PLASTIC BALL GRID ARRAY

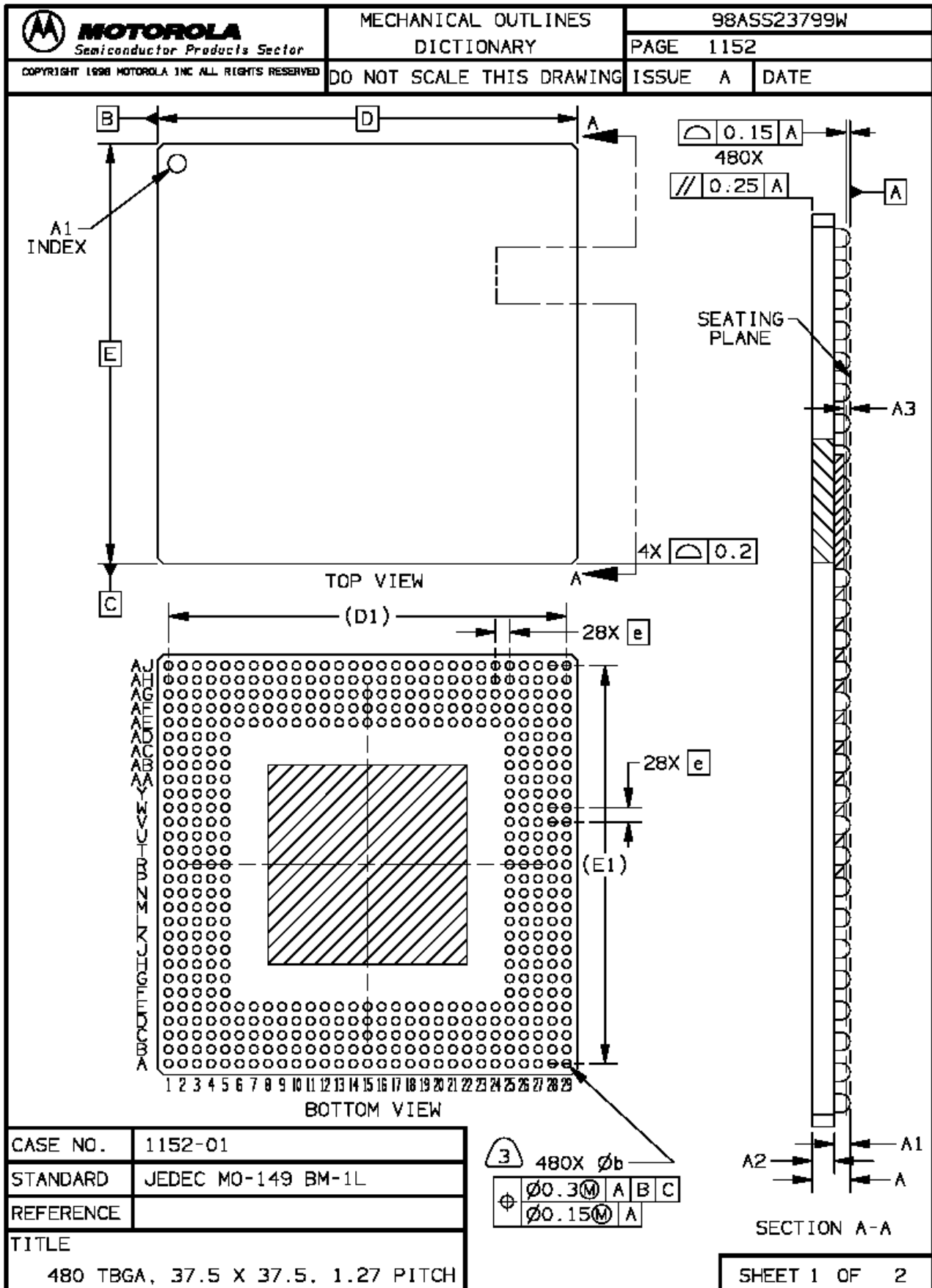



- NOTES:
- All linear dimensions are in millimeters.
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Thermally enhanced plastic package with heat slug (HSL).
 - Flip chip application only
 - Possible protrusion in this area, but within 3.50 max package height specification
 - Falls within JEDEC MO-151/BAR-2

thermal resistance characteristics (S-PBGA package)

NO		°C/W	Air Flow LFPM†
1	R _{θJC} Junction-to-case	0.74	N/A
2	R _{θJA} Junction-to-free air	11.31	0
3	R _{θJA} Junction-to-free air	9.60	100
4	R _{θJA} Junction-to-free air	8.34	250
5	R _{θJA} Junction-to-free air	7.30	500

† LFPM = Linear Feet Per Minute



 MOTOROLA Semiconductor Products Sector		MECHANICAL OUTLINES DICTIONARY		98ASS23799W	
				PAGE 1152	
COPYRIGHT 1998 MOTOROLA INC. ALL RIGHTS RESERVED		DO NOT SCALE THIS DRAWING		ISSUE A	DATE

NOTES

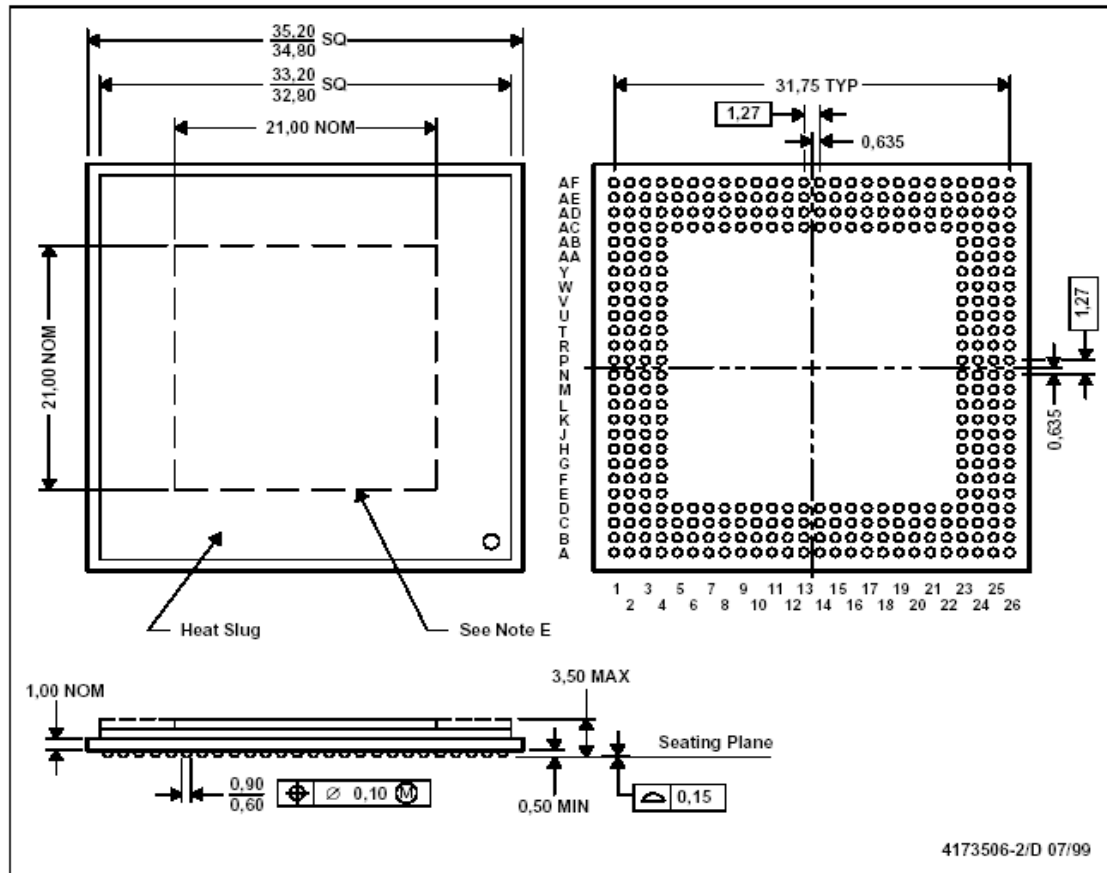
1. DIMENSIONS AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994.
2. DIMENSIONS IN MILLIMETERS.
3. DIMENSION b IS MEASURED AT THE MAXIMUM SOLDER BALL DIAMETER, PARALLEL TO PRIMARY DATUM A.
4. PRIMARY DATUM A AND THE SEATING PLANE ARE DEFINED BY THE SPHERICAL CROWNS OF THE SOLDER BALLS.

DIM	MILLIMETERS		INCHES		DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.45	1.65							
A1	0.60	0.70							
A2	0.85	0.95							
A3	0.25	---							
b	0.65	0.85							
D	37.50	BSC							
D1	35.56	REF							
e	1.27	BSC							
E	37.50	BSC							
E1	35.56	REF							

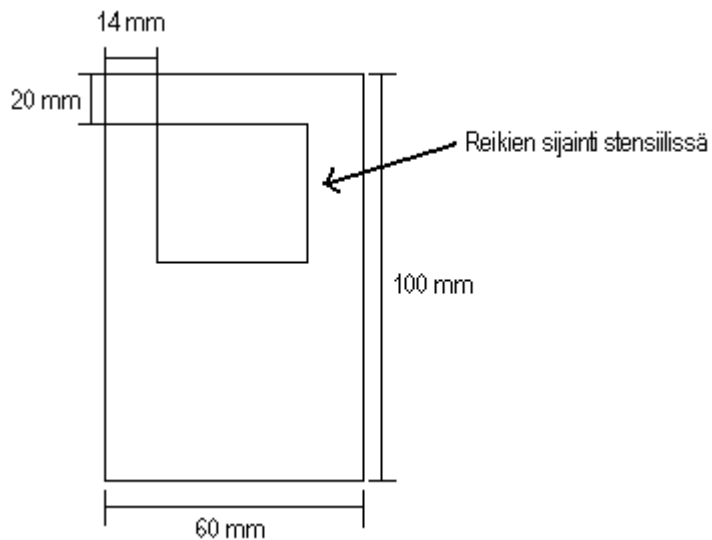
CASE NO.	1152-01
STANDARD	JEDEC MO-149 BM-2L
REFERENCE	
TITLE	
480 TBGA, 37.5 X 37.5, 1.27 PITCH	

SHEET 2 OF 2

Alla olevassa kuvassa ovat piirin tiedot. Siitä näkee tarvittavat mitat ja reikien lukumäärä ja sijoittelu (matriisi).



NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.



Viereisessä kuvassa on esitetty stensiilien mitat ja reikien sijoittelu stensiilille.

- 1 kpl 0.20mm paksu stensiili jossa 1.0mm aukot ja pitch 1.27mm
- 1 kpl 0.15mm paksu stensiili jossa 0.8mm aukot ja pitch 1.27mm
- 1 kpl 0.15mm paksu stensiili jossa 0.7mm aukot ja pitch 1.27mm

A Member of ElektronikGruppen



Atomitie 5A
FIN-00370 HELSINKI
FINLAND

Tel: +358-9-7510 3500

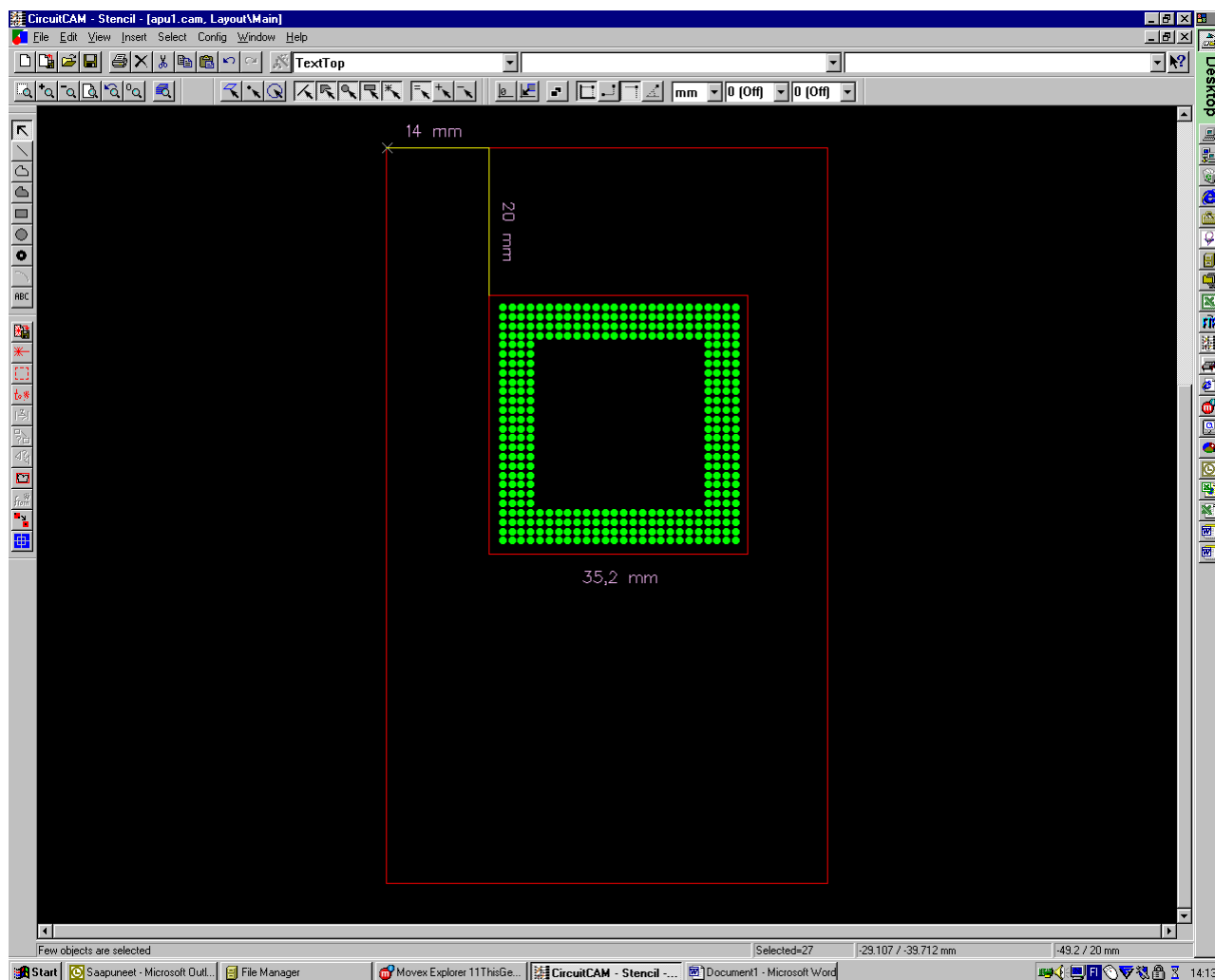
Fax: +358-9-7510 3588 (production)

Fax: +358-9-7510 3599 (office)

0 (1)

HAM / 17.02.2003

e:\tarkistus[1].doc



Avaukset 1,27 mm välillä, 35,2 mm neliössä keskellä ja neliö x: 14 mm ja y: 20 mm vasemmasta yläreunasta. Stensiilin ulkomitat 60 mm x 100 mm.

OK ? _____ ok _____

0.200 mm paksuus, avaus 1.00 mm. Tunnisteteksti?	0.20 1.0
0.150 mm paksuus, avaus 0.80 mm. Tunnisteteksti?	0.15 0.8
0.150 mm paksuus, avaus 0.70 mm. Tunnisteteksti?	0.15 0.7

2. SPECIFICATIONS

1) Alloy

Item	Unit	SE48-M955	SS48-M955	Remarks
Composition	%	Sn63, Pb37	Sn62, Pb36, Ag2	JIS E grade
Shape	--	Spherical		Microscope×50
Particle size	μm	20 ~ 45		

2) Flux

Halogen content		%	0.0	Potentiometer
SIR* ¹	Initial value	Ω	$> 1 \times 10^{12}$	JIS comb type electrode type II
	After humidification		$> 1 \times 10^{11}$	
Aqueous solution resistivity* ²		Ωcm	$> 1 \times 10^5$	Conductivity
Flux type		-	ROL0	ANSI/J-STD-004

3) Solder paste

Flux content	%	10	By weight
Viscosity* ³	Ps	$2,100 \pm 10\%$	Malcom PCU-2
Copper plate corrosion* ⁴	--	Passed	--
Solder spreadability	%	90	Copper plate
Tack time	hour	36	Malcom FG-1
Shelf life	month	6	Below 10°C

1. SIR40°C×90%RH×96Hr

2. Aqueous solution resistivityIn accordance with MIL specifications.

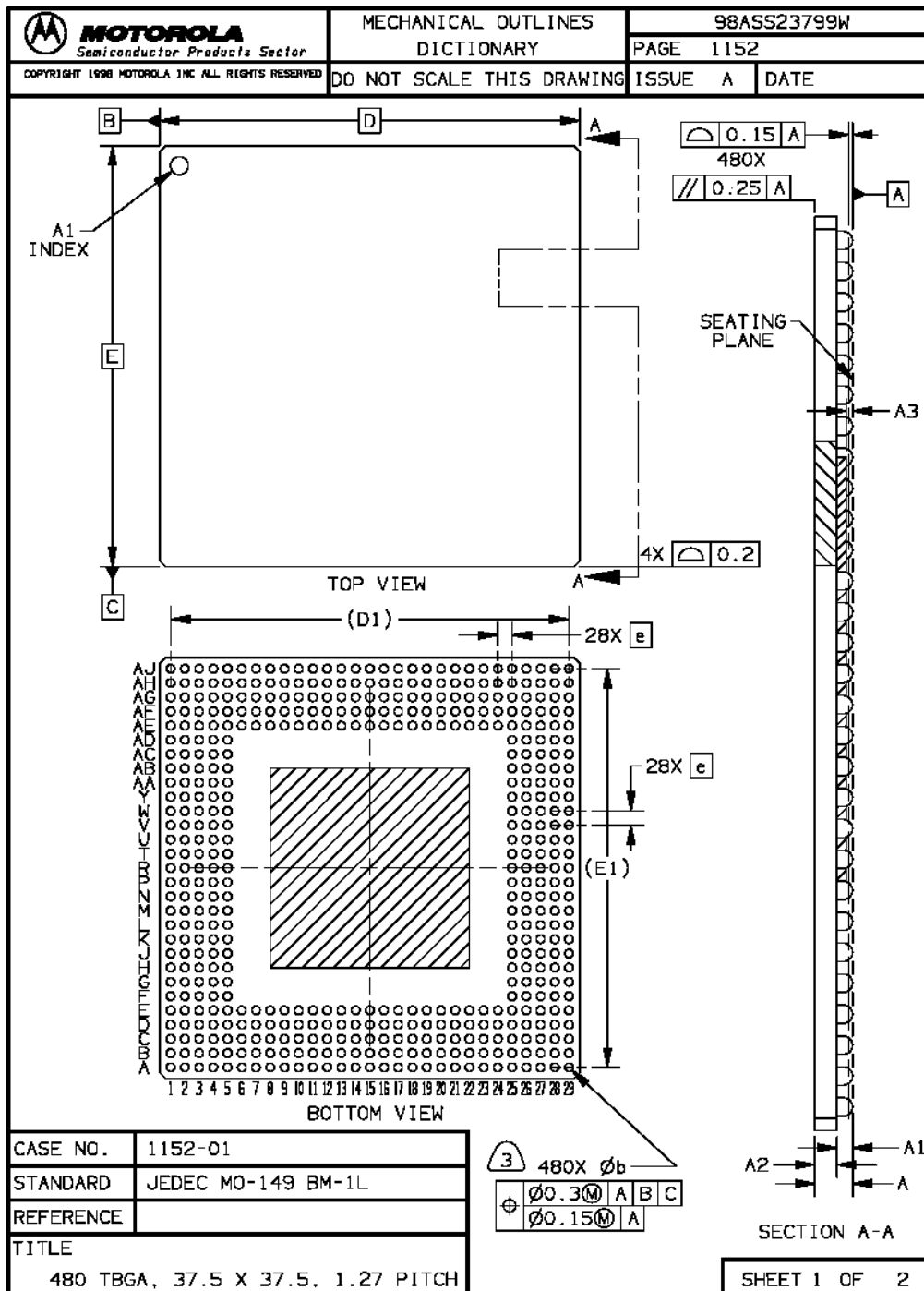
3. ViscosityMalcom spiral type viscometer, PCU-2 at 25°C 10rpm

4. Copper plate corrosionIn accordance with JIS

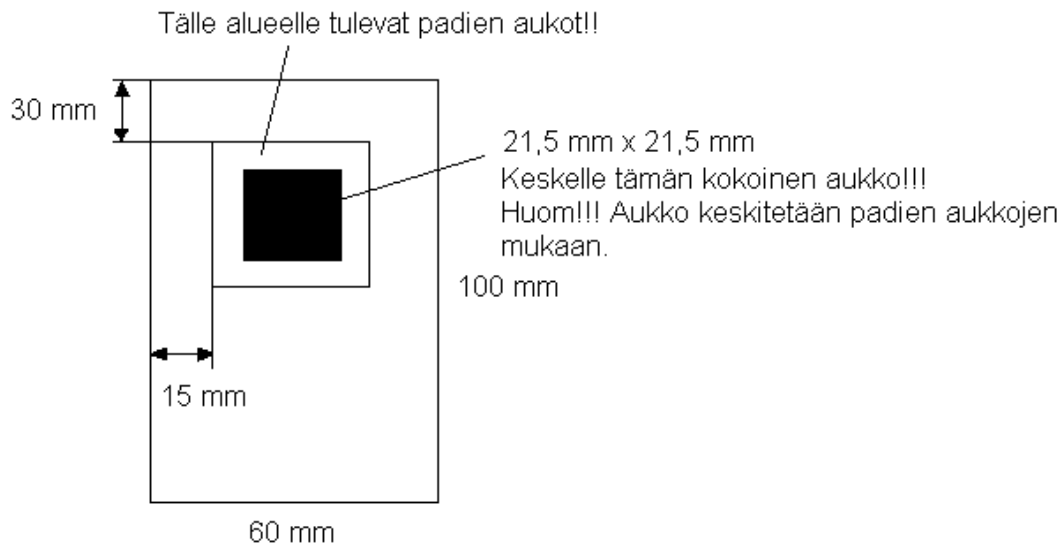
STENSIILIEN TILAUS Motorolan BGA-piiri

Liite F/1

Piirin tiedot:



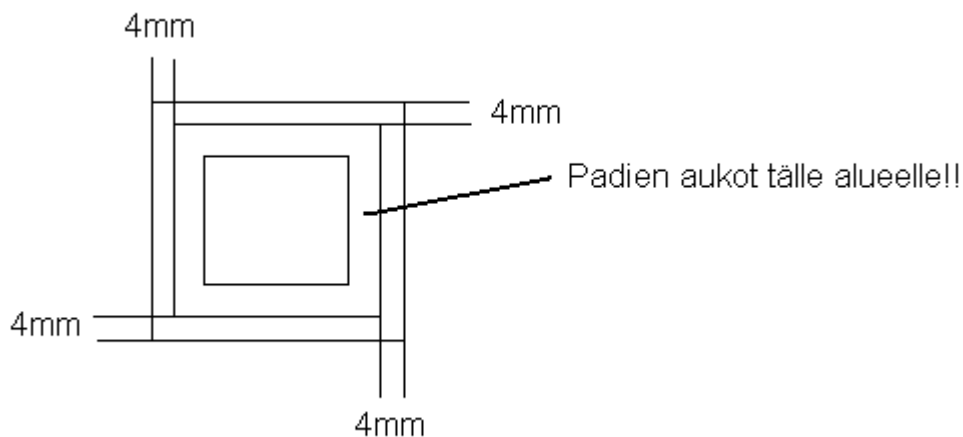
Eli tuolle piirille pitäisi tehdä seuraavanlaiset stensiilit. Piirin keskellä on kohouma jota varten stensiiliin pitää jättää suurempi aukko. Aukon koko pitäisi olla 21,5mm x 21,5mm sen tulee olla keskitetty niin että se tulee yhtä kauaksi kaikista padien aukoista (katso kuva seuraavalta sivulta).



Stensiilien määrät:

- 1 kpl jonka reikäkoko 1,0mm ja stensiilin paksuus 0,20mm, pitch 1,27mm
- 1 kpl jonka reikäkoko 0,8mm ja paksuus 0,20mm, pitch 1,27mm

Sitten tulisi vielä yksi stensiili jonka mitat seuraavassa kuvassa. Stensiilin keskelle **EI** tule isoa aukkoa niin kuin edellä!!



Eli stensiilin mitat määräytyvät kuvan mukaan. Uloimman aukkorivin joka puolelle tulee jäädä 4mm metallia.

- 1 kpl pikku stensiili, jossa reikäkoko 0,8mm ja stensiilin paksuus 0,15mm, pitch 1,27mm

A Member of ElektronikGruppen



Tel: +358-9-7510 3500

4 (1)

Atomitie 5A

Fax: +358-9-7510 3588 (production)

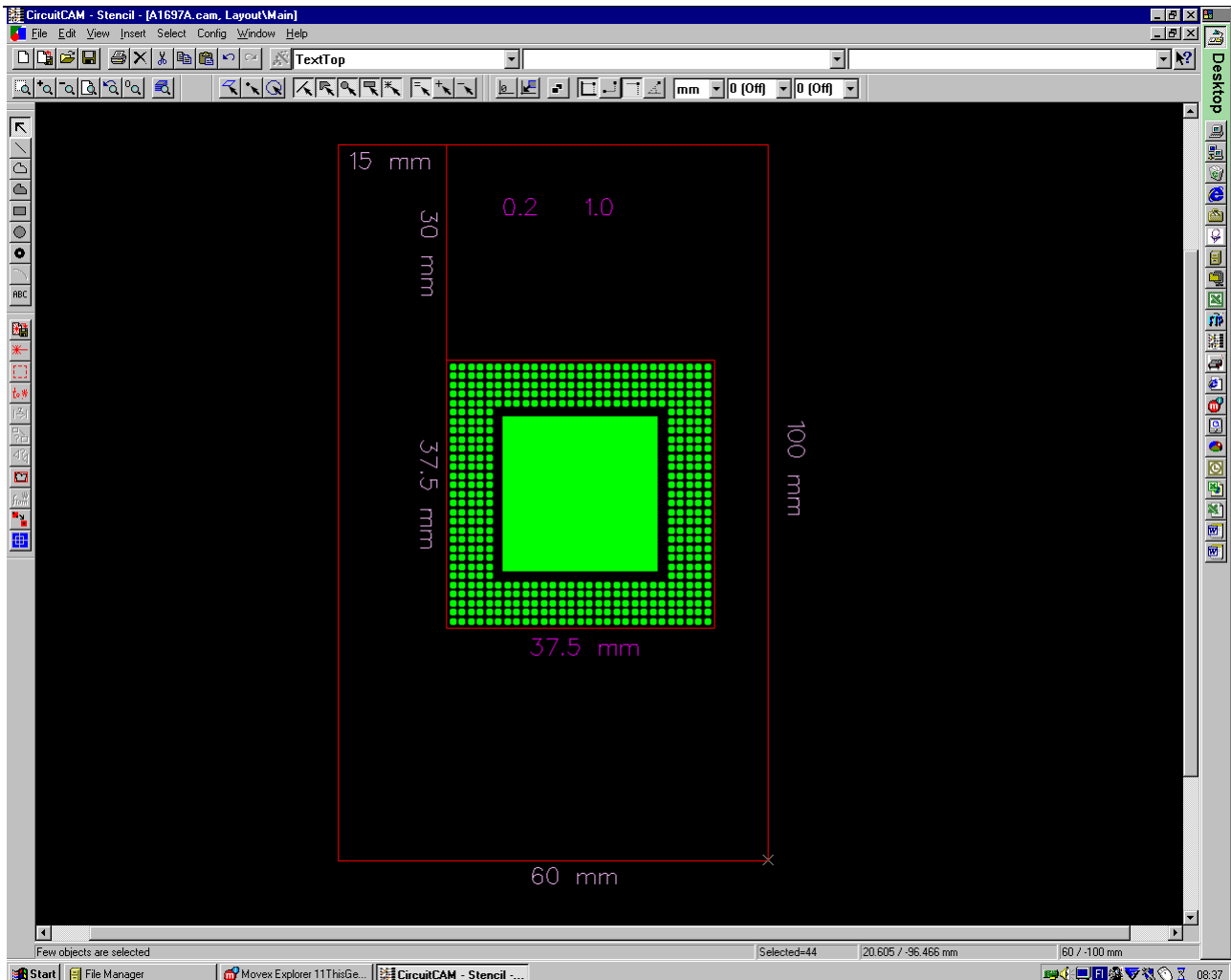
FIN-00370 HELSINKI

Fax: +358-9-7510 3599 (office)

HAM / 11.03.2003

FINLAND

document1



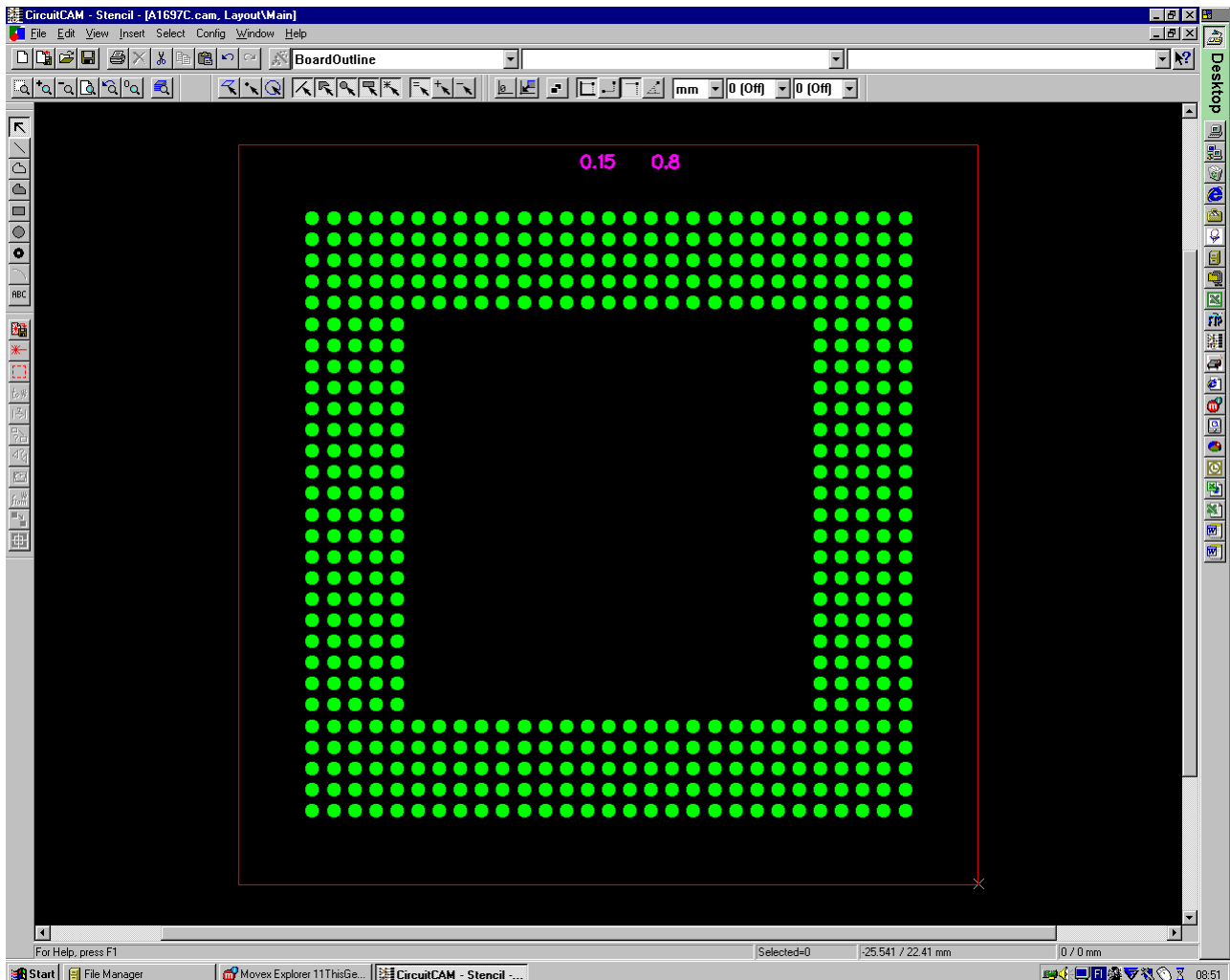
- 1 mm avaukset 1,27 mm pitchillä.
- Kuvio keskellä 37,5 mmx 37,5 mm kehyksessä ja kehys mittojen mukaan pellin yläreunasta.
- Kuvion keskelle 21,5 x 21,5 aukko.
- Peltiin tunniste 0.2 1.0

OK?

Toinen samanlainen, mutta 0,8 mm aukoilla (tunniste 0.2 0.8),

OK?

Katso seuraava sivu



- 0,8 mm avaukset 0,15 mm pellille.
- Kuvio keskellä 44,36 mm kehyksessä. (Padien ulkoreunasta ulkoreunaan 36,36 mm → kaikille puolille jää 4 mm peltiä.)
- Tunnisteteksti 0.15 0.8 (jos saadaan mahtumaan)

OK?